



Ana Rita Pessoa Bruno

Licenciatura em Engenharia Química e Bioquímica

Estudo das Condições que Influenciam o Processo de Aglomeração

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Professor Mário Eusébio, Professor Auxiliar, FCT NOVA

Coorientador: Eng.^a Sara Júlio, Eng. Processo, UI-Equipar, Amorim Cork

Júri:

Presidente: Professor Rui Manuel Freitas Oliveira, Professor Associado com Agregação, Departamento de Química, FCT NOVA

Arguentes: Doutor Luís Manuel Estêvão Cabrita, Responsável do Departamento de Engenharia de Produto, Amorim Cork

Vogais: Professor Mário Fernando José Eusébio, Professor Auxiliar, Departamento de Química, FCT NOVA

Estudo das Condições que Influenciam o Processo de Aglomeração

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Professor Mário Eusébio, Professor Auxiliar, FCT NOVA

Coorientador: Eng.^a Sara Júlio, Eng. Processo, UI-Equipar, Amorim Cork

novembro, 2020

Estudo das Condições que Influenciam o Processo de Aglomeração

Copyright © Ana Rita Pessoa Bruno, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

À minha mãe e à minha tia, por serem a minha luz.

Agradecimentos

A realização da presente dissertação não seria possível sem o apoio incondicional de todos os que me rodeiam, e que de alguma forma contribuíram para o sucesso desta etapa académica.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Corticeira Amorim, e em particular à Equipar, por me proporem este desafio e me darem a oportunidade de estagiar numa das maiores indústrias portuguesas, onde tão bem fui acolhida.

Um grande obrigado à Eng^a. Sara Júlio, por ser o meu braço direito neste processo, pela sua constante disponibilidade, pela ajuda, pela partilha de ideias e por toda a orientação dada.

Ao professor Mário Eusébio, um sincero obrigado pelo acompanhamento, e por todos os conhecimentos transmitidos, fulcrais para o desenvolvimento e execução deste projeto.

Ao Dr. Rui Dias, um obrigado pelo interesse demonstrado no meu trabalho, e por acreditar em mim.

A toda a equipa da secção AGLO, agradeço a simpatia e o carinho com que sempre me trataram, e por reforçarem a importância do trabalho de equipa em prol de um objetivo comum.

Às equipas de qualidade e controlo de processo agradeço a boa disposição, o sentido de humor e a camaradagem.

Um obrigado especial à Susana Castanhas, e ao Paulo Feijão, por todos os conselhos, e por estarem presentes nos momentos menos bons, o vosso apoio foi essencial.

À minha família, um muito obrigado pela compreensão e pela paciência, mas acima de tudo pela força e motivação.

Um agradecimento aos meus amigos, que me acompanharam ao longo deste percurso académico, e que me ajudaram a manter o foco. Que sejam amizades para a vida!

Ao Eduardo, o companheiro de todas as horas, obrigada por nunca me falhares!

Resumo

Reconhecida pela sua determinação em potenciar as particularidades da cortiça, a Corticeira Amorim é a principal escolha dos enólogos que procuram a rolha ideal para qualquer segmento de vinho e em qualquer parte do mundo.

A presente dissertação encontra justificação no crescimento do mercado das rolhas aglomeradas no período mais recente, e surge do esforço da Corticeira Amorim, e em particular da Unidade Industrial Equipar, em reforçar a qualidade dos seus produtos, apostando no estudo de uma problemática que se sabe existir, mas sobre a qual se detém pouca informação: a desaglomeração dos corpos no processo de extrusão.

Uma rolha mal aglomerada, não só não desempenha a sua função enquanto vedante, como pode afetar a qualidade do vinho e colocar em causa a indústria rolheira, assim como o bom nome da empresa, cuja atividade depende deste tipo de produtos.

Durante o período de estágio foram acompanhadas as fases do processo de extrusão; verificaram-se as não conformidades existentes; e identificaram-se e analisaram-se os potenciais fatores críticos, procurando adquirir conhecimentos suficientes para melhorar a performance do processo e reduzir a variabilidade dos corpos produzidos.

O fenómeno de desaglomeração foi relacionado com a percentagem de absorção dos corpos. Averiguaram-se os desvios na adição dos produtos químicos, e concluiu-se que a percentagem de água contida no látex influencia a qualidade da aglomeração, assim como a temperatura dos fornos e o tempo de residência dos bastões nos mesmos.

Detetou-se a existência de períodos de caixas sem mistura e concluiu-se que os mesmos eram os principais responsáveis pela problemática em estudo. Simulou-se a alimentação das linhas de extrusão, e determinou-se a quantidade de mistura, bem como o número de abastecimentos a efetuar, para suprimir as necessidades de consumo das linhas.

Por fim, definiram-se as respetivas ações corretivas a realizar, nas linhas de extrusão, e propuseram-se algumas ações de melhoria, implementando-as sempre que possível.

Palavras-chave: Cortiça, Polimerização, Extrusão, Aglomeração, Amorim, Melhoria.

Abstract

Recognized for its determination to enhance the particularities of cork, Corticeira Amorim is the main choice of winemakers looking for the ideal stopper for any wine segment and anywhere in the world.

This dissertation finds justification in the growth of the market of agglomerated stoppers in the most recent period, and arises from the effort of Corticeira Amorim, and the Industrial Unit Equipar, to reinforce the quality of its products, betting on the study of a problem that is known to exist but on which little information is held: the deagglomeration of bodies in the extrusion process.

A poorly agglomerated stopper not only does not perform its function as a sealant but can affect the quality of the wine and call into question the cork industry, as well as the good name of the company, whose activity depends on this type of products.

During the internship period, the phases of the extrusion process were monitored; existing non-conformities have been verified; and potential critical factors were identified and analyzed, seeking to acquire sufficient knowledge to improve process performance and reduce the variability of the bodies produced.

The poorly agglomeration was related to the percentage of absorption of the bodies. The deviations in the addition of chemicals were investigated, and it is concluded that the percentage of water contained in latex influences the quality of the agglomeration, as well as the temperature of the ovens and the time of residence of the canes in them.

It was detected the existence of periods of boxes without mixing and it was concluded that they were the main responsible for the problem under study. The feed of the extrusion lines was simulated, and the amount of mixture, as well as the number of supplies to be made, was determinate to suppress the consumption needs of the lines.

Finally, the respective corrective actions to be carried out in the extrusion lines were defined, and some improvement actions were proposed, implementing them whenever possible.

Keywords: Cork, Polymerization, Extrusion, Agglomeration, Amorim, Improvement.

Conteúdo

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e Motivação	1
1.2. Os Objetivos.....	4
2. A Empresa.....	5
2.1. A Corticeira Amorim	5
2.2. A Equipar	8
2.2.1. O Processo de Produção.....	9
2.2.2. As Etapas do Processo de Produção	10
2.2.3. Os Produtos.....	17
3. O Estado da Arte	21
3.1. A Cortiça	21
3.1.1. A Composição Química da Cortiça	22
3.1.2. A Estrutura Macroscópica da Cortiça	23
3.1.3. A Estrutura Microscópica da Cortiça	25
3.1.4. A Qualidade da Cortiça	26
3.1.5. A Impermeabilidade da Cortiça	27
3.1.6. A Porosidade da Cortiça.....	28
3.2. O Aglomerante	29
3.2.1. Os Poliuretanos	29
3.2.2. A Reatividade dos Isocianatos	30
3.2.3. Os Pré-Polímeros de Poliuretano e a Indústria Corticeira	32
4. A Extrusão	35
4.1. O Processo de Extrusão	35
4.2. A Elaboração da Mistura	36
4.3. A Alimentação das Linhas de Extrusão	39
5. Os Materiais e Métodos	43
5.1. Caracterização Histórica da Absorção	43

5.2.	Análise dos Modos de Falha e Efeitos	45
5.3.	Análise das Condições Operatórias	50
5.4.	Verificação do Doseamento dos Produtos Químicos	52
5.5.	Simulação da Reação de Reticulação da Cola	53
5.6.	Caracterização da Absorção Linha 3 e 4.....	56
5.7.	Ensaio Caixas sem Mistura	57
5.8.	Simulação da Alimentação das Linhas em Excel	58
5.9.	Evolução do Fenómeno de Absorção no Processo	65
5.10.	Método Expedito para o Teste da Bomba Hidrostática	66
6.	A Apresentação e Discussão dos Resultados	67
6.1.	Caracterização Histórica da Absorção	67
6.2.	Análise dos Modos de Falha e Efeitos	73
6.3.	Análise das Condições Operatórias	76
6.4.	Verificação do Doseamento dos Produtos Químicos	83
6.5.	Simulação da Reação de Reticulação da Cola	86
6.6.	Caracterização da Absorção Linha 3 e 4.....	89
6.7.	Problemas Identificados nas Linhas de Extrusão	98
6.8.	Ensaio Caixas sem Mistura	107
6.9.	Simulação da Alimentação das Linhas em Excel	111
6.10.	Evolução do Fenómeno de Absorção no Processo	117
6.11.	Método Expedito para o Teste da Bomba Hidrostática	120
7.	As Conclusões	123
8.	Sugestões para Trabalhos Futuros	127
9.	Referências Bibliográficas.....	129
10.	Anexos.....	135
	Anexo A – Dados Referentes aos Estudos Realizados	135
	Anexo B - Testes Estatísticos.....	148
	Anexo C - Simulação Alimentação das Linhas em Excel.....	155
	Anexo D - Normas	163

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Organigrama da Corticeira Amorim (2019)	7
Figura 2.2 - Volume de Vendas por Unidade de Negócio (2019)	7
Figura 2.3 - Layout UI-Equipar	8
Figura 2.4 – Fluxograma do Processo Produtivo da UI-Equipar	9
Figura 2.5 - Pranchas de Cortiça	10
Figura 2.6 – Moinho de Trituração	11
Figura 2.7 - Secadores dos Grupos 7 e 6	11
Figura 2.8 – À Esquerda: Extrusão. À Direita: Moldação	12
Figura 2.9 - Coladora	13
Figura 2.10 - Da Esquerda para a Direita: Ponçamento; Topejamento; Chanframento.....	14
Figura 2.11 - Da Esquerda para a Direita: CLO; CLEAR; CL2000	15
Figura 2.12 - À Esquerda: Marcação a Fogo. À Direita: Marcação a Tinta	16
Figura 3.1 - Fases do Descortiçamento	22
Figura 3.2 - Estrutura Macroscópica da Cortiça	24
Figura 3.3 - Estrutura Anisotrópica da Cortiça	24
Figura 3.4 - Representação da 1ª Observação de Células de Cortiça ao Microscópio	25
Figura 3.5 – Representação das 5 camadas que constituem a parede de uma célula de cortiça	26
Figura 3.6 - Reação de Formação do Grupo Uretano	29
Figura 3.7 - Estruturas de Ressonância do Grupo NCO	30
Figura 3.8 - Principais Reações dos Isocianatos	31
Figura 3.9 - Reação de Obtenção de um Pré-Polímero de Poliuretano	32
Figura 3.10 - Isómeros de Diisocianato de Tolueno	33
Figura 3.11 - Polimerização do Pré-Polímero de Poliuretano	34
Figura 4.1 - Esquema Representativo do Processo de Extrusão	35
Figura 4.2 - Esquema Representativo de uma Linha de Extrusão	41
Figura 5.1 - Esquema Representativo da Verificação das Temperaturas das Extrusoras.....	51
Figura 5.2 - Esquema Representativo da Verificação do Crescimento de Bastão das Extrusoras.....	52
Figura 5.3 - Esquema Representativo do Processo de Simulação da Reação de Reticulação da Cola	55
Figura 5.4 - Esquema Representativo do Processo de Simulação da Reação de Reticulação da Cola	56
Figura 5.5 -Esquema Representativo da Sequência de Alimentação das Linhas de Extrusão	64
Figura 5.6 - Fluxograma Simulação da Alimentação das Linhas de Extrusão em Excel	65
Figura 5.7 - Esquema Representativo do Método de Amostragem Utilizado	66
Figura 6.1– Evolução dos Valores de Absorção no Teste da Bomba Hidrostática (2018-2019).....	68
Figura 6.2 – Corpos % Absorção > 36 % Linhas 3 e 4 Extrusão AGLO (2018-2019)	69
Figura 6.3 - Gráfico de Efeitos Principais na % Absorção Teste da Bomba Hidrostática	70

Figura 6.4 – Diagrama de Ishikawa para o Efeito Desaglomeração.....	75
Figura 6.5 - Resumo das Medições de Temperatura das Linhas 3 e 4.....	77
Figura 6.6 - Resumo das Medições do Crescimento de Bastão das Linhas 3 e 4.....	80
Figura 6.7 – Intervalos de Confiança Simultâneos de 95% de Tukey (Linha 3)	82
Figura 6.8 - Intervalos de Confiança Simultâneos de 95% de Tukey (Linha 4)	83
Figura 6.9 - Verificação do Doseamento dos Produtos Químicos (N=46 para L3 e N=71 para L4).....	84
Figura 6.10 - Influência do Tempo de Residência e da Temperatura do Forno na Polimerização da Cola 88	
Figura 6.11 - Resultados Influência do Látex na Reação de Polimerização da Cola	89
Figura 6.12 - Caracterização Linha 3 (N=80).....	90
Figura 6.13 - Caracterização Linha 4 (N=80).....	91
Figura 6.14 - Teste F para a Linha 3	92
Figura 6.15 - Teste F para a Linha 4	93
Figura 6.16 - Teste t para a Linha 3: Duas Amostras com Variâncias Desiguais	94
Figura 6.17 - Teste t para a Linha 4: Duas Amostras com Variâncias Iguais	95
Figura 6.18 - Correlações entre a Temperatura dos Fornos e a Absorção dos Corpos	96
Figura 6.19 - Caixa Extrusora e Respetivo Carrinho de Alimentação	99
Figura 6.20 - Caixa com Mistura apenas num dos Lados.....	100
Figura 6.21 – Esquema Representativo da Disposição Sondas de Alimentação nas Linhas de Extrusão .	107
Figura 6.22 - % de Absorção em Função do Tempo de Caixa sem Mistura.....	108
Figura 6.23 – Bastões Resultantes do Ensaio da Caixa sem Mistura	109
Figura 6.24 - Escolha Eletrónica.....	111
Figura 6.25 – Rolha com Percentagem de Absorção igual a 42% (A) e igual a 8 % (B)	112
Figura 6.26 – Absorção Corpos Recolhidos (N=64 por amostra e N=8 por máquina/amostra)	117
Figura 6.27 – Absorção Rolhas ao Longo do Processo (1º Ensaio; N=50 por grupo).....	118
Figura 6.28 – Absorção Rolhas ao Longo do Processo (2º Ensaio, N=50 por grupo).....	119
Figura 6.29 – Humidade Rolhas ao Longo do Processo (2º Ensaio, N=10 por grupo)	120
Figura 6.30 – Correlação entre a Percentagem de Absorção a e a % de Absorção m1-m2	121
Figura 6.31 – Ensaio de Validação para o Método Expedito da Bomba Hidrostática	123
Figura A1 – Corpos/Rolhas Extrudidos(as) no Ensaio de Caixas sem Mistura	144
Figura A2 – Relação entre Humidade e Absorção das Rolhas para o Ensaio 2.....	147
Figura A3 – Representação Gráfica dos Ensaio de Validação	147
Figura B1 – Região Crítica Bilateral: Teste F	149
Figura B2 – Região Crítica Bilateral: Teste Z	150
Figura B3 - Região Crítica Bilateral: Teste t	151
Figura C1 – Código (Visual Basic) Utilizado para Gerar Combinações/Arranjos.....	159
Figura C2 - Esquema Representativo da Utilização do Simulador de Abastecimento das Linhas.....	160
Figura D1 – Norma Verificação da Temperatura das Máquinas Extrusoras.....	163
Figura D2 - Folha de Registo Verificação da Temperatura das Máquinas Extrusoras	164

Figura D3 - Norma Aferição do Doseamento dos Produtos Químicos de uma a Mistura	165
Figura D4 - Norma Verificação da Distribuição da Mistura nas Caixas.....	166
Figura E4 - Norma Verificação da Distribuição da Mistura nas Caixas	166
Figura D5 - Folha de Registo Verificação da Distribuição da Mistura nas Caixas	167
Figura E5 - Folha de Registo Verificação da Distribuição da Mistura nas Caixas.....	167

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Tipos de Granulados Produzidos e Comercializados na UI-Equipar	17
Tabela 2.2 - Tipos de Rolhas Produzidas e Comercializadas na UI-Equipar	18
Tabela 2.3 - Tipos de Rolhas Produzidas e Comercializadas na UI-Equipar (Continuação)	19
Tabela 3.1 - Composição Química da Cortiça	23
Tabela 3.2 – Características Principais dos Aglutinantes Utilizados na UI-Equipar	33
Tabela 5.1 - Níveis de Absorção para o Teste da Bomba Hidrostática	44
Tabela 5.2 – Resumo das Variáveis e dos Respetivos Níveis utilizados na Análise dos Efeitos Principais ..	46
Tabela 5.3 – Tabela Índices de Severidade	48
Tabela 5.4 - Tabela Índices de Detecção	49
Tabela 5.5 - Tabela Índices de Ocorrência	50
Tabela 6.1 - Resumo da Implementação da AMFE para o Efeito Desaglomeração.....	76
Tabela 6.2 - ANOVA de 2 fatores	78
Tabela 6.3 - Sumário ANOVA Linha 3	78
Tabela 6.4 - Sumário ANOVA Linha 4	79
Tabela 6.5 - ANOVA 1 fator Linha 3	81
Tabela 6.6 – Informações de Agrupamento Método de Tukey para IC 95% (Linha 3)	82
Tabela 6.7 - ANOVA 1 fator Linha 4	83
Tabela 6.8 - Informações de Agrupamento Método de Tukey para IC 95% (Linha 4)	83
Tabela 6.9 - % Erro permitida para cada um dos produtos químicos.....	84
Tabela 6.10 - Teste F para a Linha 3	92
Tabela 6.11 - Teste F para a Linha 4	92
Tabela 6.12 - Teste t para a Linha 3: Duas Amostras com Variâncias Desiguais	93
Tabela 6.13 - Teste t para a Linha 4: Duas Amostras com Variâncias Iguais	94
Tabela 6.14 - Teste de Correlação entre Respostas dos Corpos para as Linhas 3 e 4 (N=80 por grupo) ...	98
Tabela 6.15 - Resumo Distribuição da Mistura Linhas 3 e 4.....	99
Tabela 6.16 – Resumo Δt de Abastecimento para as Linhas 3 e 4	102
Tabela 6.17 - Resumo Δt Mistura para as Linhas 3 e 4.....	104
Tabela 6.18 - Condições Utilizadas nos Cálculos do Consumo de Mistura por Linha e por Turno	104
Tabela 6.19 – Consumo Mistura/Turno Linha 3	104
Tabela 6.20 - Consumo Mistura/Turno Linha 4	105
Tabela 6.21 - Δt sem Mistura para as Linhas 3 e 4	106
Tabela 6.22 – Distâncias Sondas de Alimentação para as Linhas 3 e 4	107
Tabela 6.23 – Condições Reais de Operação Linha 4 Extrusão AGLO.....	112
Tabela 6.24 – Simulação Linha 4 da Extrusão AGLO Condições Reais	113
Tabela 6.25 - Simulação Linha 4 da Extrusão AGLO para Mistura 80 Kg	114

Tabela 6.26 - Simulação Linha 4 da Extrusão AGLO para Mistura 70 Kg e Δt entre misturas=0	114
Tabela 6.27 - Simulação Linha 4 da Extrusão AGLO para Mistura 80 Kg e Δt entre misturas=0	114
Tabela 6.28 - Resumo Δt de Abastecimento Linha 4.....	117
Tabela A1 – Dados Temperaturas Apuradas para os Fornos das Máquinas da Linha 3 AGLO	135
Tabela A2 - Dados Temperaturas Apuradas para os Fornos das Máquinas da Linha 4 AGLO	135
Tabela A3 - Dados Crescimentos de Bastão Apurados para as Máquinas da Linha 3 AGLO	136
Tabela A4 – Dados Crescimentos de Bastão Apurados para as Máquinas da Linha 4 AGLO	136
Tabela A5 – Dados Verificação Doseamento dos Produtos Químicos nas Linhas 3 e 4 AGLO	137
Tabela A6 – Dados Caracterização Absorção Linha 3 AGLO	137
Tabela A7 - Dados Caracterização Absorção Linha 4 AGLO.....	138
Tabela A8 – Dados Caracterização da Absorção em Função da Temperatura dos Fornos Linha 3 AGLO	138
Tabela A9 - Dados Caracterização da Absorção em Função da Temperatura dos Fornos Linha 4 AGLO	139
Tabela A10 - Dados Distribuição da Mistura nas Caixas Linha 3 AGLO	139
Tabela A11 - Dados Distribuição da Mistura nas Caixas Linha 4 AGLO	140
Tabela A12 - Dados Intervalo de Tempo entre Abastecimentos Consecutivos Linha 3 AGLO	140
Tabela A13 - Dados Intervalo de Tempo entre Abastecimentos Consecutivos Linha 4 AGLO	141
Tabela A14 - Dados Intervalos de Tempo entre Misturas Consecutivas Linhas 3 e 4 AGLO	141
Tabela A15 - Dados Intervalo de Tempo de Caixa sem Mistura Linha 3 AGLO	142
Tabela A16 - Dados Intervalo de Tempo de Caixa sem Mistura Linha 4 AGLO	142
Tabela A18 – Dados Ensaio de Caixas sem Misturas nas Linhas 3 e 4 AGLO	143
Tabela A19 - Dados Escolha Eletrónica após Ensaio Caixas sem Mistura.....	144
Tabela A20 - Dados 1º Ensaio do Estudo da Evolução do Fenómeno de Absorção no Processo	145
Tabela A21 - Dados 2º Ensaio do Estudo da Evolução do Fenómeno de Absorção no Processo.....	146
Tabela A22 – Resumos Dados dos Ensaio de Validação	147
Tabela B1 – Resumo Análise ANOVA	152
Tabela B2 – Classificação Coeficiente Linear	154
Tabela C1 – Lista de Produtos Produzidos na Extrusão da UI-Equipar.....	155
Tabela C2 - Lista de Produtos Produzidos na Extrusão da UI-Equipar (Continuação)	156
Tabela C3 – Distâncias a Percorrer pelo Carrinho nas Linhas de Extrusão.....	157
Tabela C4 - Distâncias a Percorrer pelo Carrinho nas Linhas de Extrusão (Continuação)	158
Tabela C5 – Características do Carrinho e da Mistura das Linhas de Extrusão	158
Tabela C6 – Condições Reais de Operação Linha 3 Extrusão AGLO	161
Tabela C7 – Simulação Linha 3 da Extrusão AGLO Condições Reais.....	162
Tabela C8 - Simulação Linha 3 da Extrusão AGLO para Mistura 80 Kg.....	162
Tabela C9 - Simulação Linha 3 da Extrusão AGLO para Mistura 70 Kg e Δt entre misturas=0	162
Tabela C10 - Simulação Linha 3 da Extrusão AGLO para Mistura 80 Kg e Δt entre misturas=0	162

Lista de Abreviaturas

AGLO	– Aglomerada
AMFE	– Análise de Modos de Falha e Efeitos
APCOR	– Associação Portuguesa da Cortiça
CA	– Corticeira Amorim
CIPR	– Código Internacional de Práticas Rolheiras
EQD	– Equipar Distribuição
HR	– Humidade Relativa
MDI	– Difenilmetano Diisocianato
MDT	– Moinho de Trituração
MO	– Micro-ondas
MV	– Massa Volúmica
NPR	– Número de Prioridade de Risco
PU	– Poliuretano
RA	– Rolha Aglomerada
RCT	– Rolha Champanhe Técnica
RN	– Rolha Neutrocork
ROSA	– Rate of Optimal Steam Application
TDI	– Tolueno Diisocianato
TT	– Twin-Top
UI	– Unidade Industrial
UN	– Unidades de Negócio



A Introdução

1.1. Enquadramento e Motivação

O montado de sobro ocupa uma área mundial de 2.123 mil hectares, e assume um papel fundamental no que diz respeito à economia e à ecologia de um vasto número de países do Mediterrâneo.

Portugal é líder mundial na produção, transformação e distribuição de cortiça, concentrando no seu território 34% da floresta global de sobreiros. É responsável por produzir cerca de 50% das 201 mil toneladas anuais, e exporta como nenhum outro país, tendo assumido em 2018 uma quota de mercado próxima dos 63%, o equivalente a 1072 milhões de euros (APCOR, 2020).

A cortiça tem acompanhado a Humanidade desde os tempos imemoriais, tendo-se distinguido bem cedo pelas suas propriedades inigualáveis.

A relação entre o vinho e a cortiça é uma das mais antigas, e descreve uma verdadeira simbiose. De cada vez que uma garrafa é aberta, é criado um vínculo inquebrável entre o enólogo, o vinho e o consumidor.

A rolha de cortiça confere autenticidade e agrega valor. São as suas características orgânicas que a tornam num vedante incomparável, vital para o envelhecimento dos vinhos e o desenvolvimento das suas qualidades inatas (Amorim, 2020).

Apesar de existir um vasto leque de vedantes artificiais, mais de 70% dos vinicultores escolhe rolhas de cortiça para preservar o carácter dos seus vinhos, mas não são os

únicos, vários são os estudos que demonstram que os verdadeiros amantes de vinho continuam a preferir a rolha de cortiça como vedante, pois associam-na a uma qualidade superior, à tradição, à sustentabilidade e ao ritual vínico (Amorim, 2011).

Aproximadamente 71% dos produtos de cortiça portugueses têm com destino final a indústria vinícola, contando atualmente o setor com 642 empresas e 8305 trabalhadores, que em conjunto geram uma produção diária de 40 milhões de rolhas.

Não existem dúvidas do impacto que a indústria corticeira, e em particular a indústria rolheira, têm para a atividade económica do país.

Apenas no ano de 2018, as exportações de rolhas de cortiça, repartidas em 59% de rolhas naturais, 23% de rolhas técnicas e 18% de rolhas de champanhe, traduziram-se em mais de 753 milhões de euros (APCOR, 2020).

Ciente da posição que ocupa no mercado, a indústria portuguesa da cortiça tem assumido um elevado interesse na melhoria e na dinamização dos seus produtos, apostando na certificação, em nome da qualidade e da modernização.

Foi assim que, do esforço conjunto da Associação Portuguesa da Cortiça (APCOR) e da Confederação Europeia da Cortiça (CELiège), surgiu o Código Internacional de Práticas Rolheiras (CIPR).

O CIPR funciona então como um estímulo à melhoria continua, e consiste num conjunto de normas práticas para a fabricação de rolhas de cortiça, que se destina a assegurar a procura pelos mais altos padrões de qualidade nas diferentes fases e vertentes produtivas do processo (APCOR, 2020).

O interesse nas rolhas de cortiça aumenta ao percebermos o peso que têm nas exportações do mercado global, e este cenário reflete-se num aperfeiçoamento crescente das indústrias, que se esforçam por desenvolver a melhor rolha para qualquer que seja o tipo de bebida em que vai ser aplicada.

É neste contexto que se insere a Corticeira Amorim (CA), que com uma produção anual de 5.5 mil milhões de rolhas, e a sua própria rede de distribuição, ocupa um lugar de destaque, liderando uma atividade económica exemplar (Amorim, 2018).

Reconhecida pela sua determinação em potenciar as particularidades da cortiça, a CA é a principal escolha dos enólogos que procuram a rolha ideal para qualquer segmento de vinho e em qualquer parte do mundo.

A empresa encontra-se totalmente focada em garantir produtos confiáveis, enquanto cria continuamente, atendendo às necessidades vinícolas. Daí possuir uma gama de rolhas tão completa, disponíveis em inúmeros calibres e formatos, de forma a adaptarem-se à enorme diversidade de garrafas e a todo o tipo de vinho.

Dentro do amplo portefólio da CA, o mercado das rolhas aglomeradas tem assistido a um processo de *trading up* pela melhoria do *mix* de produto e de clientes. Em 2019 o crescimento foi de 10,1% e destacou-se sobretudo na Ucrânia, na Argentina, em França e em Portugal (Amorim, 2020).

A qualidade é um fator crítico de sucesso para qualquer entidade. Com o aumento da procura, assim como a introdução de novos conceitos e técnicas, as exigências dos clientes têm-se tornado cada vez mais elevadas. Este cenário obriga à existência de um controlo mais pormenorizado, e à respetiva otimização dos processos, de modo a garantir o mínimo de produtos não conformes e a máxima qualidade possível.

Apesar de se tratar de um problema com um baixo nível de ocorrência, a má aglomeração dos corpos constitui uma problemática de difícil deteção, real e grave, para a qual ainda não foi encontrada uma solução, e que deve de ser evitada a todo o custo.

Uma rolha mal aglomerada, não só não desempenha a sua função enquanto vedante, como pode afetar a qualidade do vinho e colocar em causa a indústria rolheira, assim como o bom nome da empresa, cuja atividade depende deste tipo de produtos.

Torna-se então urgente criar um sistema que permita identificar e combater o problema, impedindo que este tipo de defeito chegue às mãos dos clientes.

1.2. Os Objetivos

A presente dissertação surge do esforço da CA, e em particular da Unidade Industrial Equipar (UI-Equipar), em reforçar a qualidade dos seus produtos, apostando no estudo de uma problemática que se sabe existir, mas sobre a qual se detém pouca informação: a desaglomeração dos corpos no processo de extrusão.

Assim, o principal objetivo do trabalho desenvolvido consiste na caracterização do fenómeno de desaglomeração das rolhas de cortiça, e na diminuição da incidência da problemática em estudo, através de uma atuação proativa, e na aposta na melhoria contínua do processo.

Partindo do pressuposto que uma aglomeração menos eficiente implica valores de absorção superiores, e focando a atenção nas rolhas de espumosos RCT, por serem as que apresentam um maior historial de reclamações devido à má aglomeração, procurou-se perceber como ocorre, e porque é que ocorre esta problemática, adquirindo conhecimentos suficientes para melhorar a performance do processo e reduzir a variabilidade dos corpos produzidos.

Em concordância com as diretrizes estratégicas de toda uma equipa de trabalho, pretende-se acompanhar as fases do processo de extrusão deste tipo de rolhas; verificar as conformidades e as não conformidades, de acordo com as normas estipuladas; e identificar e analisar os potenciais fatores críticos.

Por fim, tenciona-se definir as respetivas ações corretivas, a realizar nas linhas de extrusão, assim como propor algumas ações de melhoria, nomeadamente a atualização de normas existentes e a criação de outras, implementando-as sempre que possível durante o período de estágio.



A Empresa

2.1. A Corticeira Amorim

Caracterizado por um espírito dinâmico e empreendedor, o Grupo Amorim é das maiores multinacionais de origem portuguesa, e líder mundial no setor da cortiça.

Na vanguarda da indústria, tornou famosa a cortiça lusitana, não só pelas rolhas, mas também pela valorização desta matéria-prima, que através do investimento constante em investigação e desenvolvimento de novas práticas, permitiu aprofundar conhecimentos e atingir a multiplicidade de aplicações atualmente conhecidas.

Com 150 anos de história, e assente no lema “nem um só mercado, nem um só cliente, nem uma só divisa, nem um só produto”, o grupo tem-se dedicado a setores e zonas geográficas de elevado potencial, estando presente nos cinco continentes e em mais de cem países (Amorim, 2020).

É através de práticas de desenvolvimento sustentável, e equilibrando a tecnologia com a natureza, que a CA tem viabilizado a conservação do montado de sobro, tirando partido do potencial incomensurável desta matéria-prima 100% natural: a cortiça.

Trata-se de uma verdadeira economia verde, de um processo produtivo integrado, onde não existem desperdícios ou resíduos, tudo é aproveitado, quer seja materializado noutras aplicações de valor acrescentado, quer seja utilizado como fonte de energia (Amorim, 2019).

“Os princípios de harmonia ambiental, força natural e a confiança no crescimento reforçam tanto a identidade como a cultura Amorim” (Castro, 2020), cuja atividade se

encontra segmentada em 5 unidades de negócios (UN) distintas, que são ilustradas no diagrama presente na Figura 2.1.

A empresa conta ainda com um departamento dedicado à investigação e desenvolvimento, onde são investidos cerca de 7.5 milhões de euros, anualmente, o que permite impulsionar o conhecimento no setor, contribuindo para o registo de novas patentes em áreas que vão desde os produtos de beleza até à indústria aeroespacial.

É na Amorim Florestal que se inicia a gestão global da cadeia de valor que se estende a toda a empresa, sendo esta a unidade responsável pelo fornecimento da matéria-prima às restantes UN do grupo.

A Amorim Cork encarrega-se da produção e distribuição de um vasto leque de rolhas, que cumprem elevados padrões de desempenho em quaisquer tipos de vinho, bebidas espirituosas e champanhês.

A Amorim Revestimentos é líder mundial no fabrico de pavimentos e decorativos de parede, com incorporação de cortiça, e a Amorim Cork Composites ocupa-se da criação de compósitos, reutilizando e reinventando materiais naturais e recicláveis, que se destinam a múltiplas indústrias, como é o caso da naval e da automóvel.

Já a Amorim Isolamentos encarrega-se da génese de aglomerados de isolamento acústico e térmico, naturais e dotados de uma elevada performance técnica (Amorim, 2020).

Com 51 empresas de distribuição, 10 unidades industriais de matérias-primas, 23 unidades industriais de soluções de cortiça, 10 *joint ventures*, 254 principais agentes e um volume de negócios superior a 780 milhões de euros (Figura 2.2), a CA apresentou um resultado líquido de 75 milhões de euros no ano de 2019, onde a UN Rolhas desempenhou o papel principal, sendo a responsável por mais de 70% das vendas consolidadas (Amorim, 2020).

Por sua vez, a Amorim Cork é composta por 36 unidades de distribuição e 13 unidades de produção, das quais 9 se situam em Portugal (unidades discriminadas na Figura 2.2), e onde se insere a Equipar – a Unidade Industrial de Coruche, que se dedica à produção de granulados e de rolhas de cortiça: aglomeradas e técnicas.

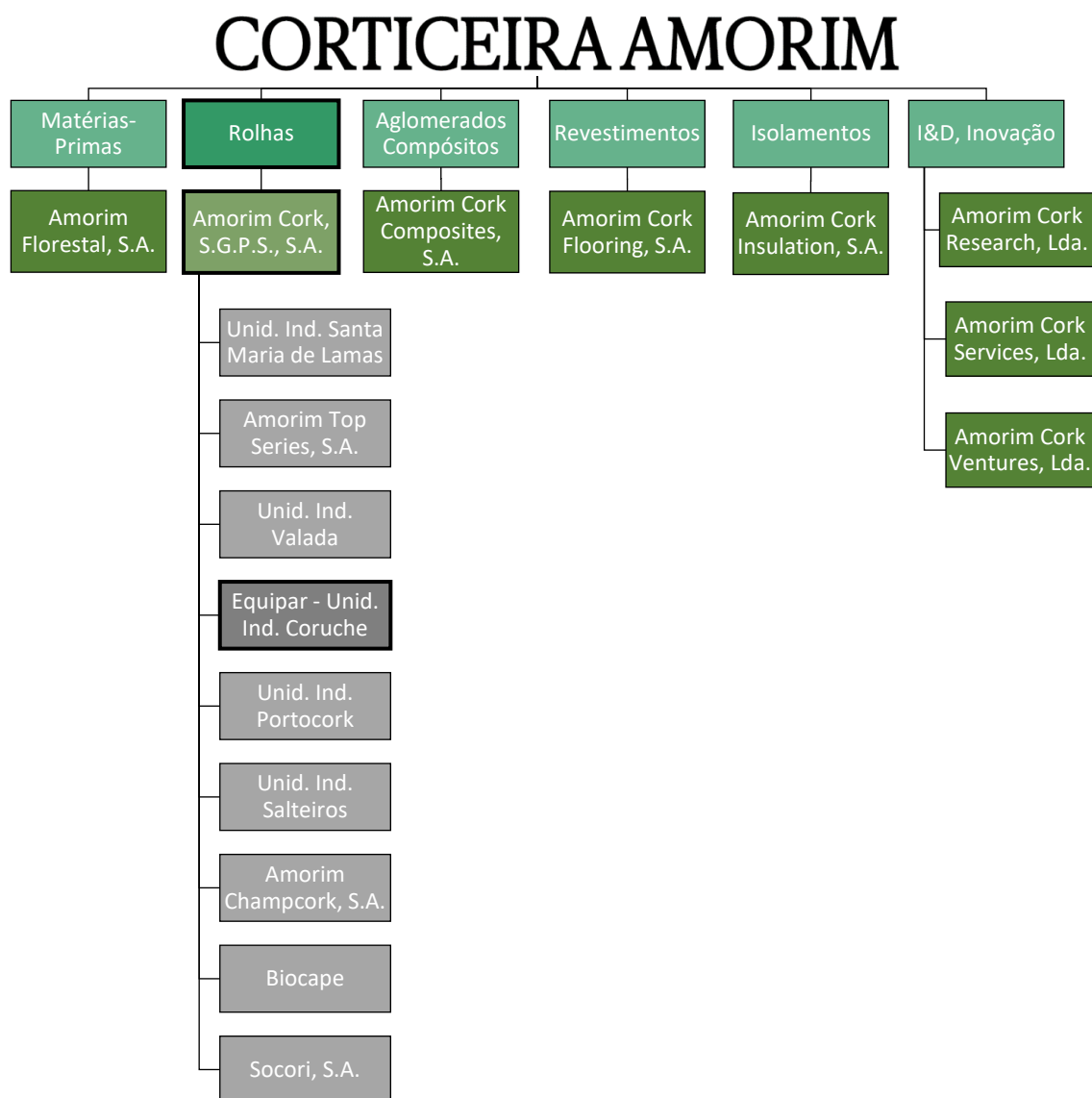


Figura 2.1 - Organograma da Corticeira Amorim (2019) [Adaptado: (Amorim, 2020)]

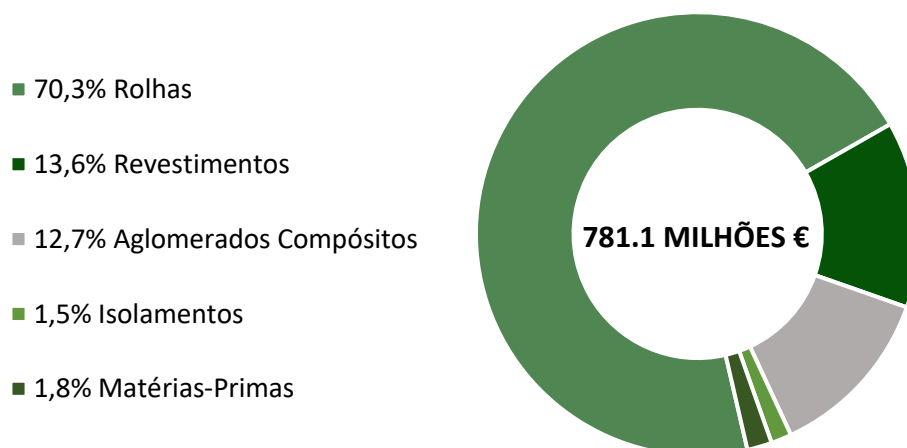


Figura 2.2 - Volume de Vendas por Unidade de Negócio (2019) [Adaptado: Amorim (2020)]

2.2. A Equipar

Situada na zona industrial do Monte da Barca, pertencente à vila de Coruche, distrito de Santarém, a Equipar foi fundada em 1995 por um conjunto de produtores de cortiça do Ribatejo.

Numa tentativa de descentralizar e fortalecer a sua produção, a CA acabou por adquirir esta unidade industrial, no ano de 2006, beneficiando da sua proximidade à matéria-prima e do forte *know-how*, típico da gente daquela que é conhecida como a capital mundial da cortiça.

Adaptando-se às necessidades do grupo e reestruturando as suas áreas de negócio, a Equipar cresceu assente nas bases da inovação e do espírito empreendedor, sendo hoje mundialmente reconhecida como uma das maiores produtoras de rolhas de cortiça, contribuindo como nenhum outro *player* para o setor em que se insere.

Atuando nas distintas etapas que compõem o processo produtivo de uma rolha, a UI-Equipar, cuja planta se encontra ilustrada na Figura 2.3, vê a sua atividade segmentada em 4 blocos, que em conjunto possibilitam não só a comercialização de uma ampla gama de produtos, mas também uma diversificada carteira de clientes: a Unidade de Trituração; a Unidade de Produção de Rolhas Twin-Top; a Unidade de Produção de Rolhas Aglomeradas, e a Unidade de Marcação, Tratamento e Distribuição (EQD).

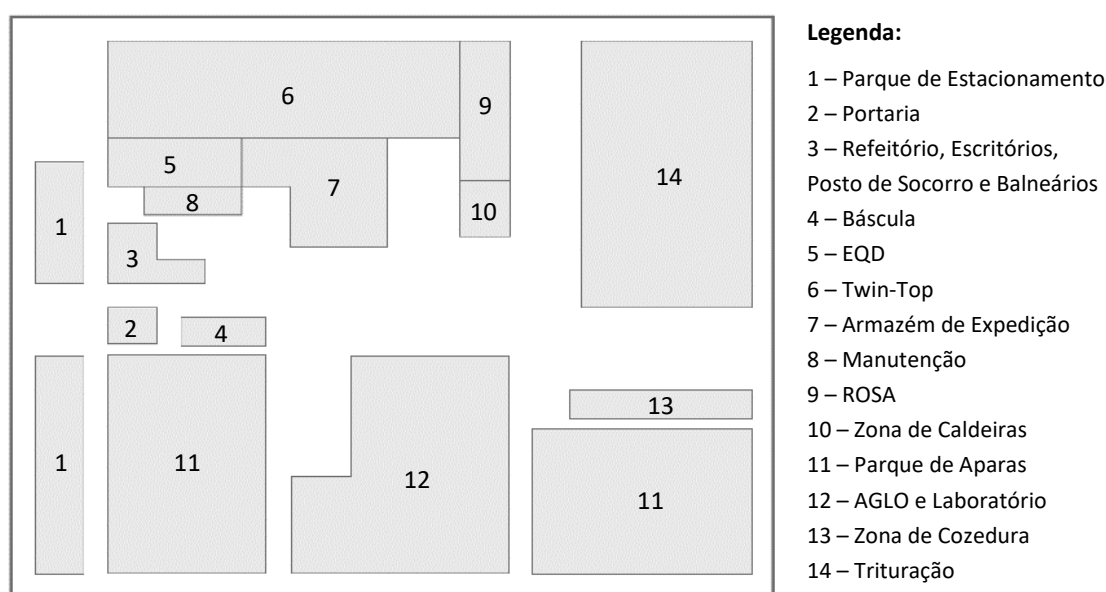


Figura 2.3 - Layout UI-Equipar

2.2.1. O Processo de Produção

A Figura 2.4 resume as etapas que compõe o processo de produção da UI-Equipar, desde a receção da matéria-prima, até à expedição do produto final.

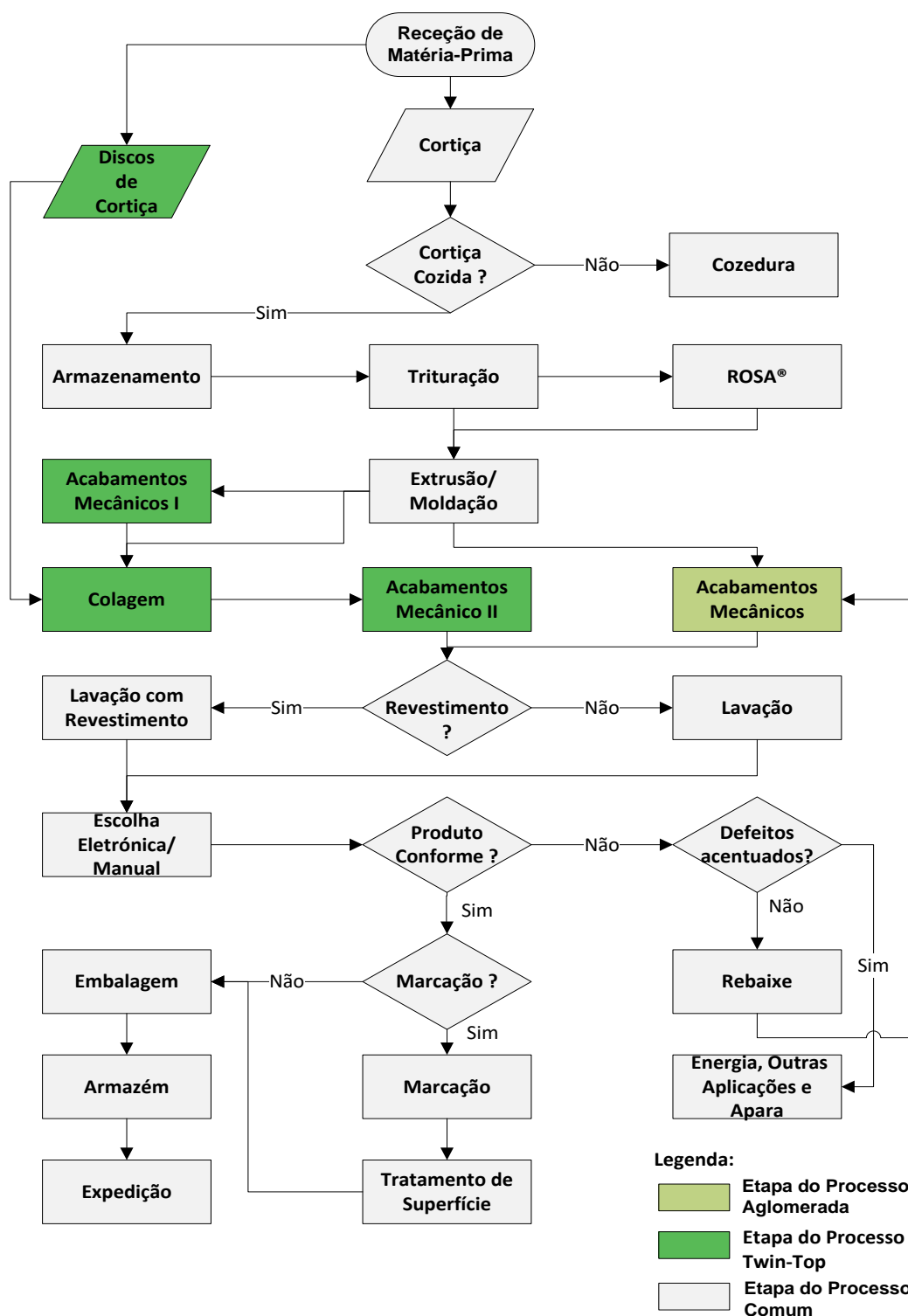


Figura 2.4 - Fluxograma do Processo Produtivo da UI-Equipar

2.2.2. As Etapas do Processo de Produção

Cozedura



Figura 2.5 - Pranchas de Cortiça

Ao chegar à UI-Equipar, a cortiça é identificada e armazenada ao ar livre, onde fica a estabilizar, de acordo com o CIPR (CELIÉGE, EUROPEAN CORK FEDERATION, 2020). Após o período de estabilização, as pranchas de cortiça (Figura 2.5) são cozidas, pelos menos durante uma hora e a uma temperatura próxima dos 100°C, em tanques de aço inoxidável devidamente filtrados e fechados. O objetivo consiste em limpar e amolecer a cortiça, extraíndo as substâncias hidrossolúveis e aperfeiçoando a sua estrutura interna, através do aumento da espessura e da elasticidade.

Trituração

É na trituração que o granulado consumido na UI-Equipar, e/ou comercializado para fora, tem origem.

Numa fase inicial, a matéria-prima constituída por refugo (cortiça de boa qualidade), apara de broca (desperdícios resultantes da produção de rolhas de cortiça natural) e apara especial (desperdícios provenientes da preparação de discos de cortiça natural), é alimentada ao Moinho de Trituração (Figura 2.6), conhecido como MDT, de onde resulta o *Broken*, que segue para um peneiro. São removidos materiais ferrosos e pedras, entre outros, e a humidade do triturado é controlada com recurso a um secador. De seguida a mistura passa por um conjunto de moinhos, *rotex* e mesas densimétricas, obtendo-se no fim deste processo diversos tipos de granulados (RA, RN e RCT), que são armazenados em silos, ou *BigBags*, de acordo com a sua granulometria e destino.



Figura 2.6 – Moinho de Trituração

ROSA®

O inovador sistema ROSA® (*Rate of Optimal Steam Application*), patenteado pela Amorim, corresponde a uma etapa determinante no tratamento do granulado de cortiça. Trata-se de um tratamento térmico, com recurso à injeção de quantidades controladas de vapor de água, sob pressão, que tem como objetivo reduzir os níveis de compostos orgânicos voláteis, sobretudo os de TCA (2,4,6-tricloroanisol) – composto relacionado com os desvios sensoriais responsáveis por conferir ao vinho um aroma/sabor indesejável a mofo.



Figura 2.7 - Secadores dos Grupos 7 e 6

Na UI-Equipar são utilizados 3 modelos do sistema ROSA®, que operam para o mesmo fim, mas que aplicam metodologias e apresentam eficiências e resultados distintos. Regra geral, o duplo ROSA é aplicado a granulados do tipo RN, o

ROSA Hitec é aplicado a granulados que se destinam à produção de rolhas aglomeradas, e o ROSA Hard é aplicado a granulados RCT e RA, utilizados no fabrico de rolhas Twin-Top.

Em todos eles, o granulado passa por um secador (Figura 2.7), onde é controlada a humidade, seguindo-se um período de estabilização mínimo de 12 horas. No caso do último sistema descrito, o granulado passa ainda por um micro-ondas (MO), onde ocorre a sua expansão, sendo posteriormente submetido a um novo período de estabilização. Após este processo, o material segue para as secções TT e AGLO, onde vai ser consumido nas extrusoras e/ou moldadoras.

Extrusão/Moldação

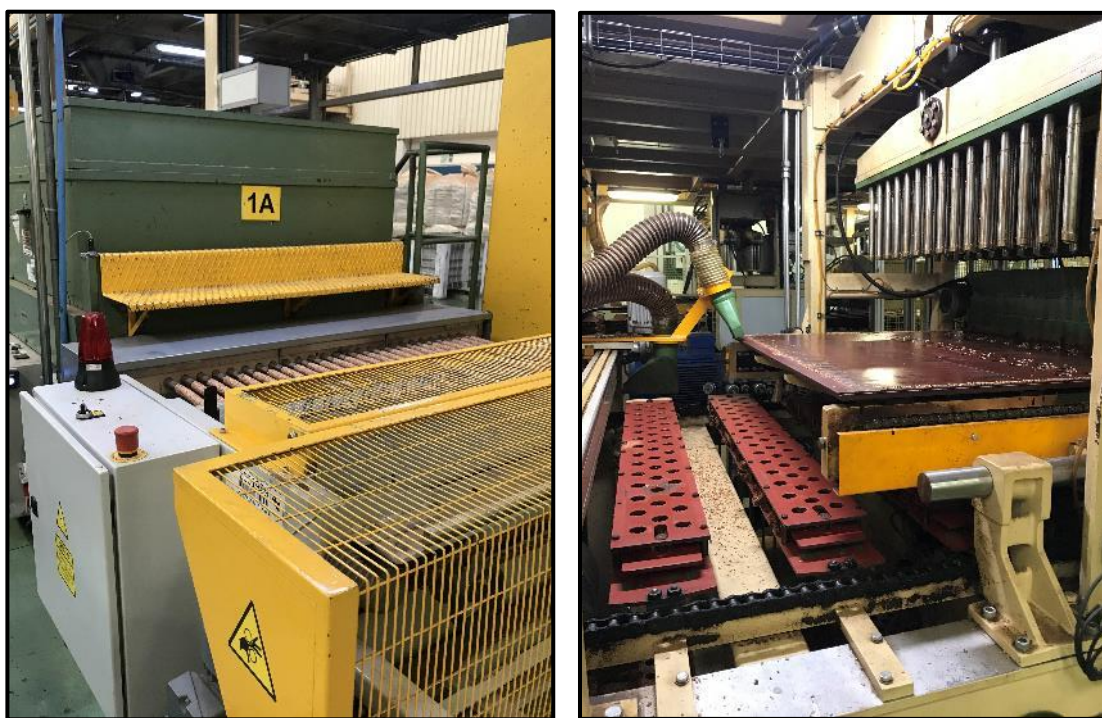


Figura 2.8 – À Esquerda: Extrusão. À Direita: Moldação

Apesar de disparem, a extrusão e a moldação (Figura 2.8), compreendem procedimentos industriais com a mesma finalidade: a formação de corpos aglomerados de cortiça.

Ambos os métodos consistem na preparação de uma mistura composta por granulado, cola, parafina e latex (sendo que este último componente é apenas utilizado na Extrusão), que posteriormente é sujeita a um processo de cozedura, durante o qual ocorrem

as reações de aglomeração. Estas misturas são elaboradas de acordo com as condições atmosféricas, assim como as do próprio granulado, em máquinas misturadoras e de acordo com as formulações previamente estabelecidas, que variam conforme o produto final que se pretende obter.

Por se tratar de uma etapa crucial para a presente dissertação, a Extrusão será abordada com maior detalhe no Capítulo 4.

Colagem

Destinada apenas à produção de rolhas TT, a colagem é uma etapa na qual são utilizados discos de cortiça natural, provenientes de outras unidades industriais do grupo, que são



Figura 2.9 - Coladora

armazenados em silos, responsáveis por abastecer as coladoras, Figura 2.9, a que se encontram associados.

É adicionada cola no(s) topo(s) do corpo aglomerado, e posteriormente, o(s) disco(s), previamente selecionado(s) por categorias. De seguida, as rolhas circulam no interior de um forno, com o auxílio de um sistema interno de roldanas, durante aproximadamente 15 minutos, o que permite secar a cola e salvaguardar a progressão de produto não conforme para as seguintes etapas do processo produtivo.

Acabamentos Mecânicos

É através dos acabamentos mecânicos que os corpos são ajustados de modo a obter as especificações pretendidas no produto final. Deste modo, as rolhas são retificadas e polidas, recorrendo a agentes abrasivos, numa linha subdividida em 3 secções: Figura 2.10.

No primeiro estágio decorre o ponçamento, durante o qual a face lateral do corpo é aplanada, até o diâmetro desejado ser atingido. De seguida ocorre o topejamento, onde o comprimento é corrigido com o auxílio de 2 lixas, devidamente distanciadas. Por fim, segue-se o chanframento, geralmente destinado a rolhas aglomeradas, e durante o qual é conferido ao corpo um chanfro no topo, responsável por simplificar a inserção e a extração da rolha numa garrafa.

No caso das rolhas TT, o topejamento antecede a colagem, e é essencial para garantir a uniformização dos corpos e evitar que se verifiquem discos descentrados.

As rolhas com defeitos, e em condições de serem reprocessadas, são reabastecidas a esta secção, e veem o seu diâmetro e seu comprimento reduzidos, através do ponçamento, de modo a suprimir os defeitos laterais que possam existir.



Figura 2.10 - Da Esquerda para a Direita: Ponçamento; Topejamento; Chanframento

Lavação

A lavação consiste num procedimento durante o qual as rolhas são desinfetadas e despoeiradas, adquirindo estabilidade química e uma superfície homogénea. A tonalidade obtida pela rolha difere de acordo com o tipo de lavação realizado, e para cada um, é elaborada uma mistura diferente, composta por agentes químicos que incluem peróxido de hidrogénio e soda cáustica, entre outras substâncias.

A lavação mais comumente utilizada na UI-Equipar é designada por CL0, e é caracterizada por deixar a rolha com um aspeto mais natural, tratando-se de um ciclo de atividade mais curto e simples. Por outro lado, a lavação CL2000, é a mais morosa das 3, e

permite à rolha obter uma cor mais esbranquiçada. Já a lavação CLEAR, corresponde a uma junção dos 2 processos previamente referidos, e é responsável por conferir à rolha uma cor intermédia. Os 3 tipos de lavações mencionados, encontram-se representados na Figura 2.11.

Caso o cliente pretenda, a rolha pode ser submetida ainda a uma etapa adicional, durante a qual é coberta com pigmentos das mais diversas cores: o revestimento.



Figura 2.11 - Da Esquerda para a Direita: CL0; CLEAR; CL2000

Escolha Eletrónica/Manual

A escolha consiste numa operação onde as rolhas são analisadas de acordo com o padrão de qualidade visual estabelecido. Trata-se de uma triagem na qual são avaliados os dois topos (superior e inferior) e o corpo, e onde as rolhas consideradas defeituosas são segregadas da linha.

Esta avaliação pode ser feita automaticamente e com recurso a máquinas (escolha eletrónica) ou então, e em casos especiais, manualmente, por operadores devidamente especializados (escolha manual).

Caso a rolha seja rejeitada existem 2 cenários possíveis: ou a rolha é reaproveitada e retificada dando origem a uma outra de calibre inferior (rebaixe), ou os defeitos existentes são tão acentuados que a rolha se torna imprópria para rebaixe, acabando por ser direcionada para outras aplicações dentro do grupo ou então encaminhada para aproveitamento energético (lenhas).

Marcação e Tratamento de Superfície

Na Equipar Distribuição (EQD) são praticados 2 tipos de marcações (Figura 2.12): a marcação a fogo, que pode ser aplicada no corpo, nos topos ou em ambos; e a marcação a tinta, que se destina apenas ao corpo da rolha. Pode ainda existir uma combinação dos 2 métodos referidos.

A marcação das rolhas é opcional e depende das preferências do cliente, que se encontram devidamente expressas na nota de encomenda. A rolha pode então ser marcada com o logotipo do cliente ou qualquer outro símbolo/texto que seja do seu interesse.

Após a marcação, as rolhas sofrem um tratamento de superfície, que consiste em conferir à rolha um revestimento à base de elastómeros de silicone e parafina. Este tratamento permite atuar nas forças de inserção e extração na garrafa, contribuindo para a impermeabilização da rolha e auxiliando no processo de engarrafamento.



Figura 2.12 - À Esquerda: Marcação a Fogo. À Direita: Marcação a Tinta

Embalagem

A conclusão do fluxo produtivo dá-se no embalamento, que é uma etapa que tanto pode ocorrer antes como depois da marcação. Neste estágio, as rolhas são contabilizadas e embaladas, mediante o seu destino final e de acordo com a quantidade pretendida.

O acondicionamento das rolhas semiacabadas é realizado em sacos de ráfia, enquanto que as rolhas acabadas são embaladas em sacas de plástico e inseridas em caixas de cartão.

Posteriormente, as sacas e as caixas, são colocadas em paletes, devidamente identificadas, e encaminhadas, por um operador logístico, para o armazém de expedição.

2.2.3. Os Produtos

No vasto leque de produtos concebidos na UI-Equipar encontram-se os granulados, com origem no processo de trituração, e as rolhas de cortiça, que podem ser classificadas como semiacabadas ou acabadas.

Os Granulados

É a partir da trituração das sobras da cortiça de maior qualidade, utilizada na produção de rolhas naturais e de discos, as aparas, e de cortiça de menor qualidade, o refugo, que surgem os granulados utilizados na Equipar, e comercializados para outras unidades industriais do grupo, assim como para clientes externos.

Estes são classificados de acordo com a sua granulometria, e conforme é indicado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Tipos de Granulados Produzidos e Comercializados na UI-Equipar

Granulado	Granulometria (mm)	Descrição
RCT Rolha de Champanhe Técnica	3-7	Granulado de cortiça de maior granulometria.
RA Rolha Aglomerada	2-3	Granulado de cortiça de granulometria intermédia.
RN Rolha Neutrocork	1-2	Granulado de cortiça de granulometria fina.
BD/MD	0,5-1	Granulados não destinados à produção. Tratam-se de subprodutos de menor granulometria, provenientes do processo de trituração e utilizados noutras aplicações de cortiça.
AD	0,5-1 1-2	
ADT	1-2	
ADL	1-2	
ADX	1-2	
Terras	0-2	Obtidas no processo de trituração, são a fração com menor valor e utilizadas para aproveitamento energético na Zona das Caldeiras.

As Rolhas

A Equipar oferece um portefólio diversificado de rolhas, destinadas a vinhos de consumo rápido, cuja identidade é definida pela família, classe e calibre a que pertencem e pelos acabamentos e lavação a que são sujeitas.

A gama alargada de opções oferecidas advém da versatilidade instalada na UI-Equipar, que permite ao cliente personalizar o seu produto, beneficiando sempre do fator qualidade. A Tabela 2.2 sumariza os tipos de rolhas fabricadas, assim como o granulado e o processo de aglomeração que as originam. Convém ainda referir que uma rolha acabada corresponde a uma rolha pronta a ser engarrafada pelo cliente final, enquanto que uma rolha semiacabada é posteriormente finalizada e direcionada para outras UI do grupo, ou agentes distribuidores.

Tabela 2.2 - Tipos de Rolhas Produzidas e Comercializadas na UI-Equipar [Adaptado: (Amorim, 2020)]

Rolha	Descrição	Granulado	Processo
Advantec®	Rolha técnica inovadora e revistada, que integra todas as medidas preventivas e corretivas de combate ao TCA, incluindo o reconhecido sistema ROSA®. Trata-se de uma solução imbatível em termos de preço e desempenho, técnico e sensorial, ideal para vinhos de grande rotação.	RN RA ROSA®	Extrusão Moldação
Advantec Colours®	Colorida e divertida, a Advantec Colours® é dirigida aos mais jovens e concebida para bebidas de consumo rápido. Esta inovadora rolha técnica capta a atenção do consumidor, mantendo as características de uma rolha Advantec®, ao mesmo tempo que acompanha as necessidades do mercado emergente.	RCT RN RA ROSA®	Extrusão Moldação
Aglomerada	Composta por um corpo aglomerado de cortiça e ideal para vinhos a consumir nos 6 meses seguintes ao engarrafamento, a rolha aglomerada apresenta uma elevada performance a um processo competitivo.	RCT RA	Extrusão Moldação

Tabela 2.3 - Tipos de Rolhas Produzidas e Comercializadas na UI-Equipar (Continuação)

Rolha	Descrição	Granulado	Processo
Aglomerada Espumosos	Corresponde a um corpo aglomerado destinado a bebidas gaseificadas, e de consumo rápido, cuja gama de pressão interna não exceda os 5 bar.	RCT	Extrusão
Neutrocork®	São os micro grânulos de cortiça, de tamanho uniforme, compactados em moldes individuais, que conferem à rolha grande estabilidade estrutural. De aspeto atrativo e de fácil extração, é recomendada para vinhos que tenham de ser consumidos num período de 2 anos, e que apresentem alguma complexidade, destacando-se assim como um vedante natural.	RN	Moldação
Spark®	Criada para os melhores vinhos efervescentes do mundo, a Spark® é uma rolha composta por um corpo aglomerado e 2 discos de cortiça natural, colocados estrategicamente na extremidade que contacta com o vinho. Apresenta uma performance física, química e enológica inigualável e promete facilidade no engarrafamento através do seu comportamento mecânico exemplar.	RCT	Extrusão Moldação
Twin-Top®	Ideal para vinhos frutados e aconselhada para vinhos não destinados a longos períodos de estágio na garrafa, a rolha Twin-Top® satisfaz as exigências dos vinicultores mantendo as propriedades benéficas de uma rolha natural. É constituída por um corpo aglomerado e por discos de cortiça natural, cuja conformação depende não só da quantidade, mas também da posição dos mesmos no corpo, podendo ser classificada como: 1+1 ou 0+1.	RCT	Extrusão
Twin-Top Evo®	Caracterizada por um corpo de cortiça microgranulado e discos de cortiça natural de elevada qualidade, a rolha Twin-Top Evo® é obtida por moldagem individual, garantindo uma maior homogeneidade e resistência, tanto física como mecânica. É destinada ao segmento popular-premium, ideal para vinhos com notas florais e frutadas que devem de estagiar em garrafa durante um período máximo de 36 meses.	RN	Moldação



O Estado da Arte

3.1. A Cortiça

A cortiça é a casca do carvalho (*Quercus suber* L.), que se desenvolve principalmente no Mediterrâneo Ocidental, e que há milhares de anos protege, inspira e deslumbra o Homem com a sua abrangência de aplicações.

Trata-se de um tecido vegetal, 100% natural, com propriedades únicas que lhe conferem um carácter ímpar, que até hoje nenhum processo tecnológico ou industrial conseguiu imitar, igualar ou ultrapassar (APCOR, 2020).

É leve, praticamente impermeável a líquidos e a gases, elástica e compressível, proporciona isolamento térmico e acústico, é retardante de fogo e altamente resistente à abrasão. Além disso, é totalmente biodegradável, renovável e reciclável (Amorim, 2020).

É no descortiçamento que se inicia o ciclo de vida da cortiça enquanto matéria-prima. Cada sobreiro demora 25 anos até poder ser descortiado pela primeira vez, e a cortiça é extraída sob a forma de peças semi-tubulares, habitualmente no verão e com uma periodicidade legal mínima de 9 anos (Gil, 2012).

Deste primeiro descortiçamento, a desbóia, obtém-se a cortiça virgem, uma cortiça de estrutura irregular e com uma dureza que se torna difícil de trabalhar. Aos 34 anos ocorre o segundo descortiçamento, de onde surge um material de estrutura regular, menos duro, mas ainda assim impróprio para o fabrico de rolhas: a cortiça secundeira. É apenas a partir do terceiro descortiçamento, ao fim de 43 anos, que a cortiça, amadia

ou de reprodução, apresenta as propriedades adequadas à produção de rolhas de qualidade: uma estrutura regular, com costas e barriga lisas (APCOR, 2020) (Amorim, 2014).

O sobreiro tem uma vida útil de 250 a 350 anos, e pode ser descortiçado entre 15 a 18 vezes. Após cada descortiçamento, o sobreiro realiza um processo de autorregeneração da casca, o que confere um caráter excepcionalmente sustentável à atividade de extração da cortiça (Amorim, 2012).

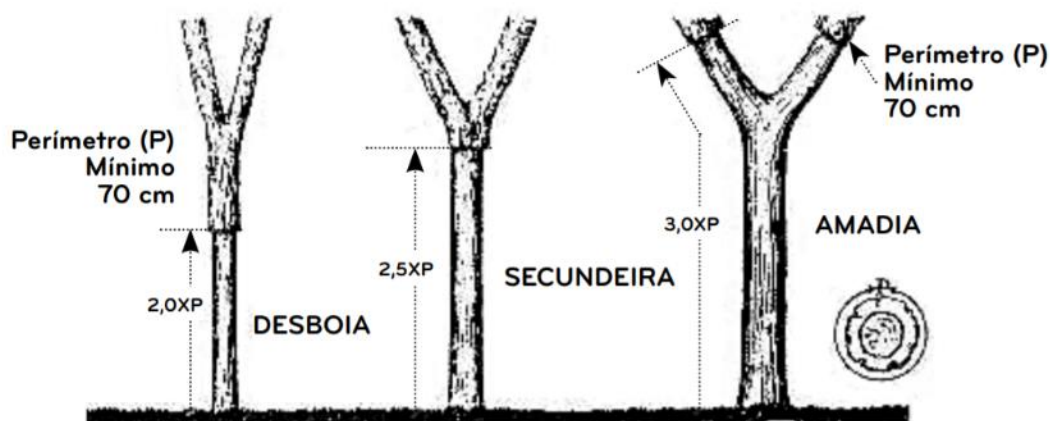


Figura 3.1 - Fases do Descortiçamento [Fonte: (Gil, 2007)]

3.1.1. A Composição Química da Cortiça

As propriedades de um material encontram-se intimamente ligadas às características químicas dos seus componentes, à sua quantidade e à sua distribuição (Pereira H. , 2007).

Tradicionalmente, a constituição química da cortiça é dividida em 6 grupos distintos: suberina, lenhina, polissacáridos, ceróides, taninos e cinzas.

As percentagens apresentadas na Tabela 3.1 constituem valores típicos, no entanto, estes podem diferir devido a fatores tais como: a localização geográfica, o tipo de solo, o clima, as condições vegetativas, a idade e dimensão da árvore, o tipo de exploração vegetal e ainda o método de análise utilizado (Gil, 2012).

Tabela 3.1 - Composição Química da Cortiça [Fonte: (Gil, 1998)]

Tipo	Componente	Composição (%)
Estrutural	Suberina	45
	Lenhina	27
	Polissacáridos	12
Não Estrutural	Ceróides	6
	Taninos	6
	Cinzas	4

Assim, a cortiça é formada por compostos estruturais e não estruturais, sendo que os primeiros apresentam uma forma polimérica, complexa e extensa. A suberina, o componente maioritário, encontra-se nas paredes celulares, em camadas alternadas com substâncias ceróides, e é responsável pela elasticidade e compressibilidade da cortiça. A lenhina é uma macromolécula, de elevado peso molecular, que concede suporte mecânico e rigidez à parede celular. Por sua vez, os polissacáridos, presentes na estrutura da cortiça, correspondem essencialmente a 2 tipos de polímeros: a celulose e a hemicelulose, que juntos contribuem para a determinação do tecido da cortiça (S. P. Silva, et al., 2005).

3.1.2. A Estrutura Macroscópica da Cortiça

Após o descortiçamento, a parte exterior do “entrecasco” fica exposta, sendo “empurrada” pelas camadas de novas células que se vão formando sucessivamente no interior. É assim que “nasce” a raspa, o principal constituinte da “costa” da cortiça (a parte externa). Esta seca, contrai e endurece, acabando por fendilhar devido ao crescimento da árvore (Gil, 2007, 2012).

A parte interna do tecido suberoso, é conhecida por “barriga” ou “ventre”, e corresponde à última camada de crescimento anual. Apresenta menor elasticidade do que as

restantes camadas, e orifícios dos canais lenticulares, que atravessam radialmente as pranchas de cortiça – os poros (Gil, Cortiça, 2012).

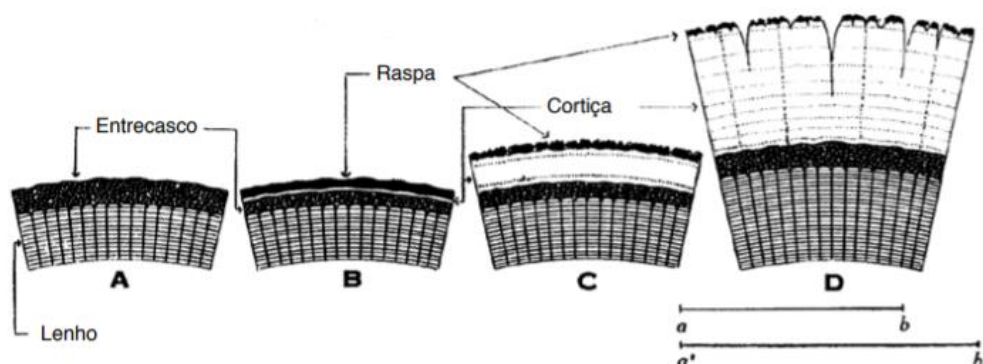


Figura 3.2 - Estrutura Macroscópica da Cortiça [Fonte: (Gil, 2007)]

Ao longo da espessura da cortiça observam-se os anéis de crescimento, que são facilmente identificados por serem constituídos por células de diferentes espessuras e dimensões. É através da contagem destas camadas que se obtém o número de anos da cortiça (Gil, 2007).

A cortiça possui ainda uma estrutura anisotrópica, quer isto dizer que as suas propriedades físicas variam consoante a direção. Associadas à cortiça, podem ser consideradas 3 direções principais (Figura 3.3), que são: a radial, paralela aos raios da árvore; a axial, que corresponde à direção vertical da árvore; e a tangencial, que é perpendicular às outras 2 e simultaneamente tangente à circunferência da secção da árvore. Perpendicularmente às direções mencionadas, existem 3 secções, designadas, respetivamente, por: tangencial, transversal e radial (Gibson & Ashby, 2001). Porém, nos aglomerados de cortiça, devido à distribuição aleatória dos grânulos, esta anisotropia deixa de ser sentida.

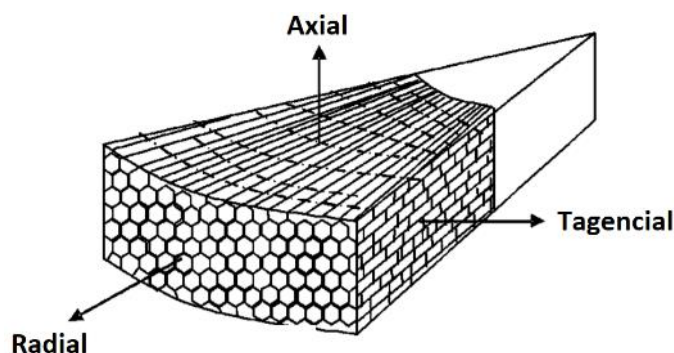


Figura 3.3 - Estrutura Anisotrópica da Cortiça [Adaptado: (S. P. Silva, et al., 2005)]

3.1.3. A Estrutura Microscópica da Cortiça

A cortiça foi um dos primeiros materiais a ser observados ao microscópio. A primeira representação remete-nos ao ano de 1665, quando Robert Hooke decidiu examinar lâminas de cortiça num microscópio rudimentar (Figura 3.4). Na realidade, o que Hooke observou foram apenas paredes celulares de células vegetais mortas, com formas hexagonais, às quais deu o nome de célula (Lagorce-Tachon, et al., 2014).

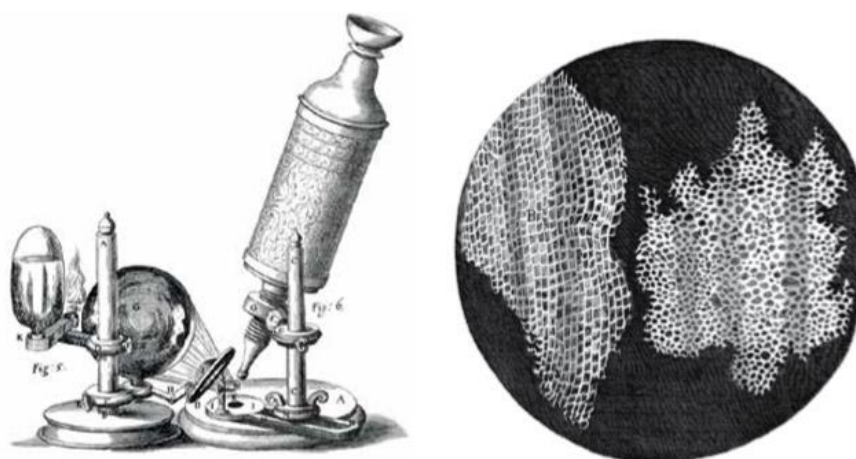


Figura 3.4 - Representação da 1ª Observação de Células de Cortiça ao Microscópio [Fonte: (Amorim, 2020)]

Microscopicamente, a cortiça pode ser descrita como um tecido homogêneo de células de estrutura alveolar, compostas por finas paredes, dispostas de forma regular e sem espaços intercelulares. As células da cortiça são fechadas e vazias, contendo no seu interior um gás semelhante ao ar, que ocupa aproximadamente 90% do seu volume e que desempenha um papel importante nas suas propriedades (Gil, 1998) (S. P. Silva, et al., 2005). A comunicação das células dá-se através dos plasmodesmos, microcanais que atravessam a parede celular.

São 5 as camadas que constituem a parede celular das células de cortiça (Figura 3.5): 2 camadas de natureza celulósica, que forram as cavidades celulares (parede primária); 2 camadas interiores suberificadas, que conferem impermeabilidade (parede secundária); e 1 camada, média lenhificada, que confere rigidez e estrutura (parede terciária) (Gil, 1998).

As células da cortiça estão longe de ser uniformes, de facto existe uma grande diferença dentro de uma amostra e entre amostras. Em média, 1 cm³ de cortiça possui 30 a 42 milhões de células, que por norma, apresentam dimensões entre os 30-40 µm de largura e os 35-45 µm de altura. As células geradas na Primavera/Verão apresentam membranas celulares de menor espessura (1-1,25 µm) do que as que são geradas no Outono/Inverno (2-2,5 µm) (Gil, 1998) (H. Pereira, 2007).

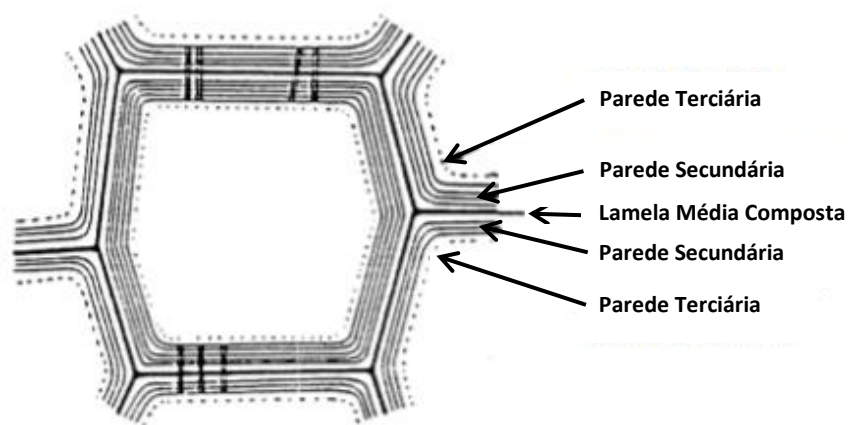


Figura 3.5 – Representação das 5 camadas que constituem a parede de uma célula de cortiça
[Adaptado: (Gil, 2007)]

3.1.4. A Qualidade da Cortiça

A cortiça destinada à produção de rolhas é inspecionada visualmente, e selecionada de modo a garantir a melhor aparência e o melhor leque de propriedades possível (S. P. Silva, et al., 2005). O claro e a lisura da cortiça virgem, assim como a maciez e a espessura reduzida da costa na cortiça amadia, são alguns dos aspetos exteriores que costumam ser considerados como indicadores da qualidade da cortiça.

Em última análise, a qualidade da cortiça é determinada pela homogeneidade da sua “massa”, encontrando-se intimamente relacionada com a quantidade de canais lenticulares presentes na sua estrutura celular (porosidade).

Existe ainda uma série de defeitos estruturais da cortiça, que são importantes para as aplicações rolheiras, entre eles encontram-se (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas - ICNF, 2020):

- **Prego** – Cortiça que apresenta pequenas aglomerações de células, fortemente lenhificadas em detrimento do tecido suberoso, que conferem à cortiça uma densidade elevada;
- **Marmoreado** – Cortiça com manchas irregulares, de cor escura, localizadas em áreas adjacentes aos canais lenticulares, com origem da proliferação de um fungo (*Melophia ophiospora* Sacc.) (Liese, 1983);
- **Enguiado** – Cortiça que apresenta fendas longitudinais, e profundas, que são causadas pelo crescimento do lenho, do entrecasco e do próprio tecido suberoso;
- **Esfoliação** – Cortiça que contem assentadas de células suberosas, separadas umas das outras. Este fenómeno encontra-se, geralmente, associado a anos secos;
- **Verde** – Cortiça que, ao ser extraída, apresenta manchas translúcidas junto à barrega. Estas correspondem a células cheias de água de vegetação, que ao secarem originam manchas que se contraem mais do que o tecido suberoso que as rodeia, acabando por causar deformações;
- **Ataque de Animais e Pragas** – Cortiça Formigada (formigas), Cortiça Cobrilhada (larvas), Cortiça Picada (aves);
- **Ferrugem** – Cortiça com manchas alaranjadas causadas pela presença de um fungo (*Endothiella gyrosa* Sacc.).

Para a produção do objeto de estudo da presente dissertação, são utilizados granulados de cortiça, que são obtidos mediante a trituração de cortiça imprópria para a produção de aplicações mais nobres, como é o caso das rolhas de cortiça naturais. Trata-se então de uma porção de cortiça mais defeituosa, e de baixa qualidade, o que se traduz, inevitavelmente, numa maior variabilidade e heterogeneidade da matéria-prima introduzida no processo.

3.1.5. A Impermeabilidade da Cortiça

Contrariamente ao que se possa pensar, a cortiça não é um material 100% impermeável a líquidos e a gases. Na realidade, as células de cortiça possuem uma baixa permeabilidade, devido a presença de teores elevados de suberina nas suas paredes celulares (Rosa & Fortes, 1993). No entanto, na preparação da cortiça para uso industrial, as

células absorvem água durante a cozedura, o que resulta em alterações de massa, volume e dimensões. Numa fase inicial, e até as paredes celulares ficarem completamente saturadas, ocorre uma alteração dimensional, seguidamente ocorre um aumento da massa da cortiça, que é potenciado pela água que penetra no interior das células através de mecanismos de evaporação-condensação (Rosa & Fortes, 1988).

3.1.6. A Porosidade da Cortiça

A porosidade encontra-se estreitamente relacionada com a qualidade da cortiça, e é caracterizada pela dimensão, tipo, quantidade e distribuição dos poros presentes na sua estrutura.

Apesar de não existir uma grande variação no número de poros, a porosidade tende a diminuir à medida que nos focamos em níveis mais elevados do tronco da árvore. Tal acontece devido não só à redução do diâmetro dos canais lenticulares, mas também à diminuição da espessura da cortiça (Natividade, 1950). Por outro lado, nas cortiças de maior espessura, as pressões internas, consequência direta das deformações mecânicas a que os canais lenticulares ficam sujeitos, tendem a potenciar o aumento da largura dos poros, o que culmina em níveis de porosidade elevados (Natividade, 1934).

Existem cenários, nos quais a porosidade da cortiça pode atingir valores perto dos 30% - cortiça frouxa ou bofe. Nestas situações, os canais lenticulares apresentam-se extremamente largos e com diâmetros superiores a 20 mm, o que contrasta facilmente com a realidade da cortiça de elevada qualidade, a flor, na qual o diâmetros dos canais lenticulares costuma situar-se entre os 0,5 e os 1 mm (Liese, 1983).

O excesso de porosidade influencia várias das propriedades da cortiça e desempenha um papel determinante no seu valor comercial bem como nos produtos a que se destina (Pereira H. , 2007). A cortiça de menor qualidade é direccionada para a produção de aglomerados, onde se inserem as rolhas técnicas de cortiça, e a porosidade passa então a poder ser distinguida em: porosidade intrínseca, a porosidade correspondente à cortiça natural; e porosidade extrínseca, uma porosidade aparente que surge na sequência da aglomeração dos grânulos de cortiça.

3.2. O Aglomerante

A reação de aglomeração constitui um passo determinante para a obtenção de um produto conforme e de qualidade. Como tal, é essencial conhecer as características do aglomerante utilizado, perceber como ocorre a sua síntese bem como e a sua polimerização, qual a sua influência nas propriedades mecânicas da rolha, e como contribui para o sucesso do processo em estudo: a extrusão.

Atualmente, o uso de adesivos à base de pré-polímeros de poliuretano é o mais recorrente na indústria corticeira, deixando para trás as resinas fenólicas, as resinas cardólicas e as resinas de ureia formaldeído (Bellat, et al., 2018).

3.2.1. Os Poliuretanos

Os poliuretanos (PU) constituem uma classe de polímeros extremamente versáteis, utilizados em diversos segmentos da ciência e tecnologia e que podem ser encontrados sob a forma de elastómeros, fibras, espumas, adesivos e revestimentos de superfícies (Coutinho, 1999).

A síntese de um poliuretano ocorre através de uma reação de poliadição, por etapas, entre um composto hidroxilo (OH) e um isocianato (NCO), em que ambos apresentam funcionalidades iguais ou superiores a 2 (Forrest, 1999).

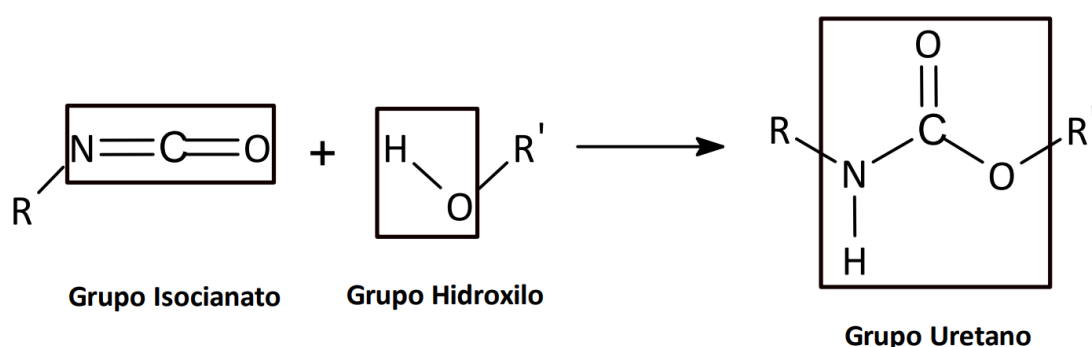


Figura 3.6 - Reação de Formação do Grupo Uretano

A estrutura molecular dos PU pode variar desde os polímeros rígidos e reticulados, até aos elastoméricos, de cadeias lineares e flexíveis (Vilar, 1998). Esta variedade de produtos e de propriedades é uma consequência direta, não só das ligações uretânicas, estabelecidas entre a ampla gama de isocianatos e polióis disponíveis (Figura 3.6), mas também de outro tipo de ligações, provenientes dos catalisadores e extensores de cadeias aplicados (Coutinho, 1999).

Entre os polióis utilizados, encontram-se os polímeros sintéticos, como os poliéteres, os poliésteres e o polibutadieno, e ainda os de origem natural, que incluem o óleo de mamona, os polissacarídeos, a celulose e a lignina (Coutinho, 1999) (Cangemi, Santos, & Neto, 2009).

Existem vários tipos de isocianatos comercializados, que podem ser alifáticos, ciclo alifáticos, policíclicos ou aromáticos. No entanto, e devido à sua elevada reatividade, a grande parte dos isocianatos consumidos na produção de PU são os aromáticos, que podem derivar, quer do diisocianato de tolueno (TDI), quer do diisocianato de difenilmetano (MDI) (Cangemi, Santos, & Neto, 2009) (Sharmin & Zafar, 2012).

3.2.2. A Reatividade dos Isocianatos

A análise da estrutura eletrónica do grupo isocianato, indica que são possíveis as estruturas de ressonância representadas na Figura 3.7, nas quais a densidade eletrónica aumenta do átomo de carbono para o átomo de nitrogénio, e do átomo de nitrogénio para o átomo de oxigénio.

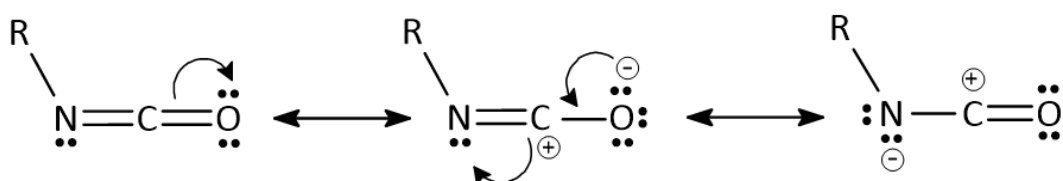


Figura 3.7 - Estruturas de Ressonância do Grupo NCO

Por norma, as reações que envolvem isocianatos, ocorrem através da adição à dupla ligação C=N, onde um centro nucleofílico, que contém um átomo de hidrogénio ativo,

ataca o carbono eletrofílico, sendo então o átomo de hidrogénio adicionado ao de nitrogénio (Fraizer & Das, 2005).

A estrutura do isocianato tem elevada importância no que à reatividade do grupo NCO concerne, sendo esta reatividade aumentada por substituintes que promovam o incremento da carga positiva do átomo de carbono. Deste modo, os isocianatos alifáticos são menos reativos que os aromáticos, que serão tanto mais reativos quanto maior for a eletronegatividade dos substituintes do anel aromático (Arnold, Nelson, & Verbanc, 1957) (Vilar, 1998).

Em adição ao efeito eletrónico, os efeitos estéricos são igualmente importantes, uma vez que a presença de substituintes volumosos, próximos do local de reação, diminuem a velocidade com que a mesma ocorre.

Como resultado da reatividade do grupo isocianato, existem cinco reações principais a considerar (Figura 3.8). A já mencionada reação com polióis para formar poliuretanos; a reação com aminas que origina poliureias; a reação com água que resulta em poliureia com a libertação de gás carbónico – agente que promove a expansão do polímero; a reação com grupos uretano, que resulta na formação de ligações cruzadas de alofanato; e a reação com ureia que permite a formação de ligações cruzadas de biureto (Vilar, 1998).

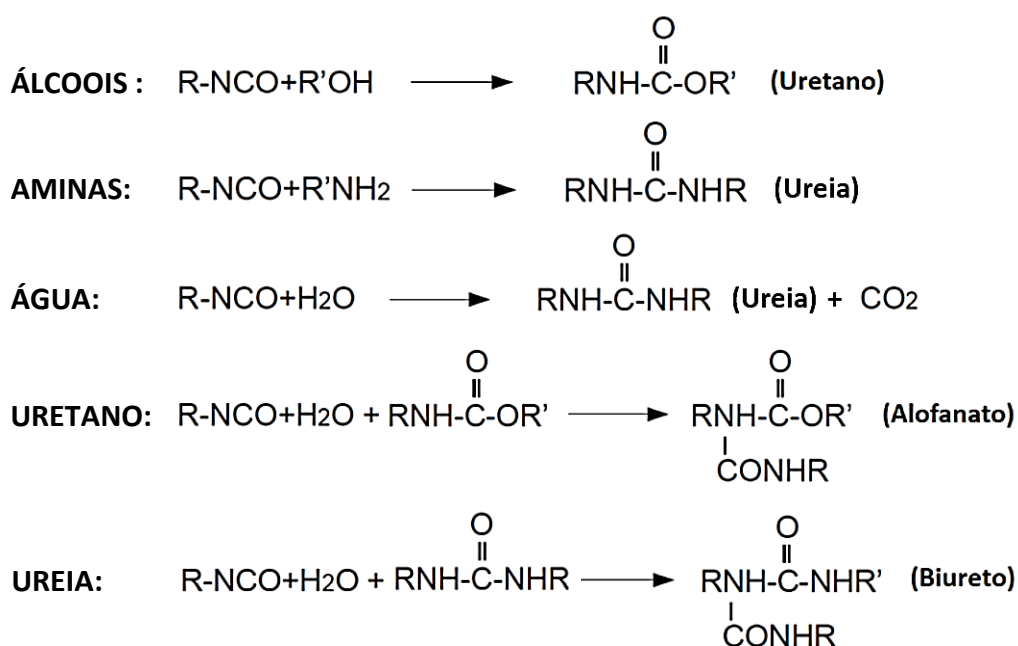


Figura 3.8 - Principais Reações dos Isocianatos [Adaptado: (Vilar, 1998)]

3.2.3. Os Pré-Polímeros de Poliuretano e a Indústria Corticeira

Um poliuretano pode ser obtido de duas formas distintas: ou por um processo que envolve uma única etapa, e na qual os reagentes são misturados em simultâneo; ou através de um processo de duas etapas, Figura 3.9, onde a reação prévia de um poliól com um excesso de isocianatos, resulta na formação de um pré-polímero, cujo teor de NCO livre é dado pela proporção isocianato/poliól utilizada (Vilar, 1998) (Ashida, 2006).

O processo descrito é conduzido em reatores descontínuos e fortemente agitados, na ausência de água, numa atmosfera inerte e à temperatura máxima de 100 °C. A reação de reticulação ocorre posteriormente, mediante a ação de um agente de cura, que pode ser um poliól, uma amina, ou água (Kloss, 2007).

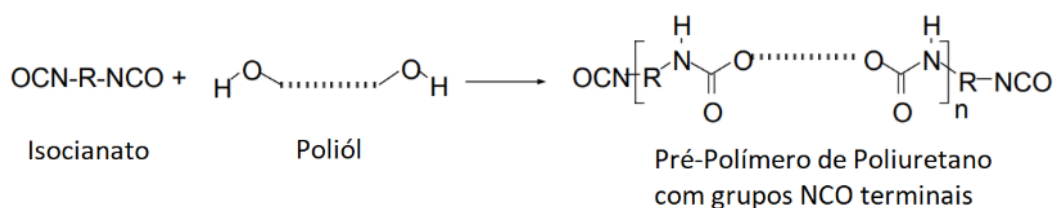


Figura 3.9 - Reação de Obtenção de um Pré-Polímero de Poliuretano [Adaptado de: (Six & Feigenbaum, 2003)]

Grande parte dos adesivos utilizados para consolidar os grânulos de cortiça são pré-polímeros de poliuretano baseados em isocianatos aromáticos de baixo peso molecular. Exemplos disso são o diisocianato de tolueno (TDI) e o diisocianato de difenilmetano (MDI).

Os aglutinantes à base de TDI são geralmente mais flexíveis que os constituídos por MDI, o que se reflete nas propriedades físicas e mecânicas do produto final. Para além de serem compatíveis, e poderem ser utilizados em itens de cariz alimentar, os adesivos de TDI conferem ao aglomerado a coesão necessária, uma excelente resistência ao calor, elasticidade, resiliência e impermeabilidade (Six & Feigenbaum, 2003) (Frisch, 2001) (Harper, Wolcott, & Timothy, 2011). São estas algumas das características que os tornam numa escolha tão atrativa para a indústria corticeira e que faz com que sejam o produto de eleição para a produção de rolhas aglomeradas na UI-Equipar.

A Tabela 3.2 resume os atributos mais importantes dos três tipos de cola utilizados na Equipar. Todas têm como finalidade o uso industrial para a produção de aglomerados de cortiça, podendo ser aplicadas quer no processo de extrusão, quer no processo de moldação; e todas resultam de uma mistura entre os isômeros 2,4-TDI e 2,6-TDI (Figura 3.10), cuja quantidade empregue corresponde a cerca de 80 e 20 %, respetivamente.

A reatividade dos aglutinantes vai depender do teor de NCO livre, e acarreta consequências diretas para a atividade produtiva. Uma cola muito reativa poderá conduzir à formação de um bastão pesado, ao passo que uma cola menos reativa poderá originar bastões abertos, o que poderá, mais tarde, culminar em problemas de vedação e absorção (Júlio,2016).

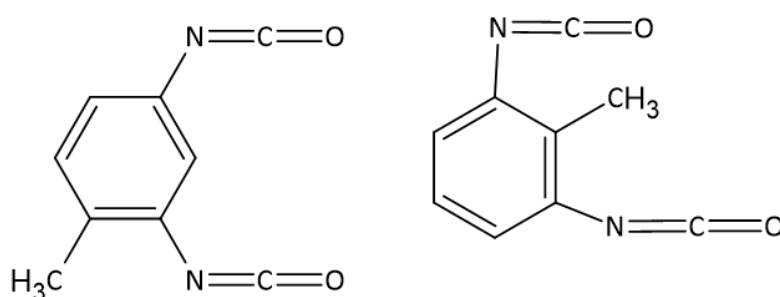


Figura 3.10 - Isómeros de Diisocianato de Tolueno. À Esquerda a Estrutura do 2,4-TDI, e à Direita a Estrutura do 2,6 – TDI.

Tabela 3.2 – Características Principais dos Aglutinantes Utilizados na UI-Equipar

	COLA 1	COLA 2	COLA 3
Teor NCO (%)	2,5-10	1-5	1-5
Viscosidade 25°C (cP)	7000	4000-8000	4000-8000
Densidade 25°C (Kg/m³)	1062	1050-1070	1010-1050

Apesar da elevada afinidade existente entre os grupos NCO do adesivo e os grupos OH da cortiça, é a água presente na última a responsável por iniciar a polimerização do pré-polímero de TDI (Figura 3.11A) (Six & Feigenbaum, 2003).

Durante o processo de extrusão, a água reage com uma cadeia final de NCO formando um grupo de ácido carbâmico instável (Figura 3.11B), que rapidamente se decompõe em dióxido de carbono e numa amina (Figura 3.11C). Por sua vez, a amina atua como catalisador e agente reticulante, ao reagir com um outro grupo NCO, de onde resulta

um polímero de poliuretano (Vilar, 1998) (Silva, Bordado, & Martínez, 2007) (Chelak & Newman, 1991).

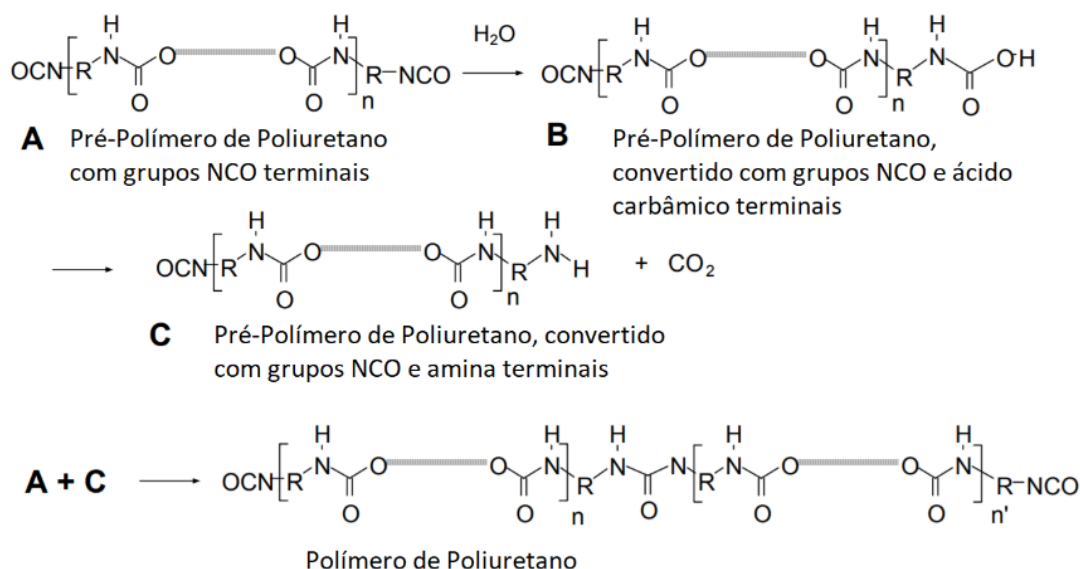


Figura 3.11 - Polimerização do Pré-Polímero de Poliuretano [Adaptado de: (Six & Feigenbaum, 2003)]

Quando falamos da água presente na cortiça, existem dois cenários distintos que podem, e devem, de ser considerados. Por um lado, temos a humidade residual/intrínseca, aquela que está contida nos próprios grânulos da cortiça e que pode ser controlada para ir de encontro às especificações do processo produtivo. Por outro lado, temos a humidade adicionada durante a elaboração da mistura, a humidade extrínseca.

Apesar de pouco se saber sobre este parâmetro, existe um estudo de 2015, sobre a cinética da reação de cura em aglomerados de cortiça, que revela que o aumento na taxa de reação da cola é diretamente proporcional ao teor de humidade adicionado, sugerindo que a água acrescentada reage com o isocianato mais rapidamente do que a cortiça granulada por si só, uma vez que esta possui uma maior mobilidade do que aquela que se encontra retida no interior dos grânulos de cortiça (Moreira, Costa, & Neto da Silva, 2015). Deste modo, e sabendo de antemão que a água tem um efeito catalítico na reação de polimerização, é necessário ter uma atenção redobrada quando se procede ao acerto da humidade através da adição de água no sistema, correndo-se o risco de ter uma aglomeração ineficiente quando quantidades superiores às pretendidas são adicionadas.

4

A Extrusão

4.1. O Processo de Extrusão

A extrusão é a etapa do processo produtivo mais relevante para a presente dissertação, uma vez que é na mesma que ocorre a aglomeração dos corpos. Trata-se de um processo complexo, que abrange inúmeras variáveis e condições operatórias muito específicas, que se encontram resumidas na Figura 4.1 juntamente com as entradas e as saídas do sistema em estudo.

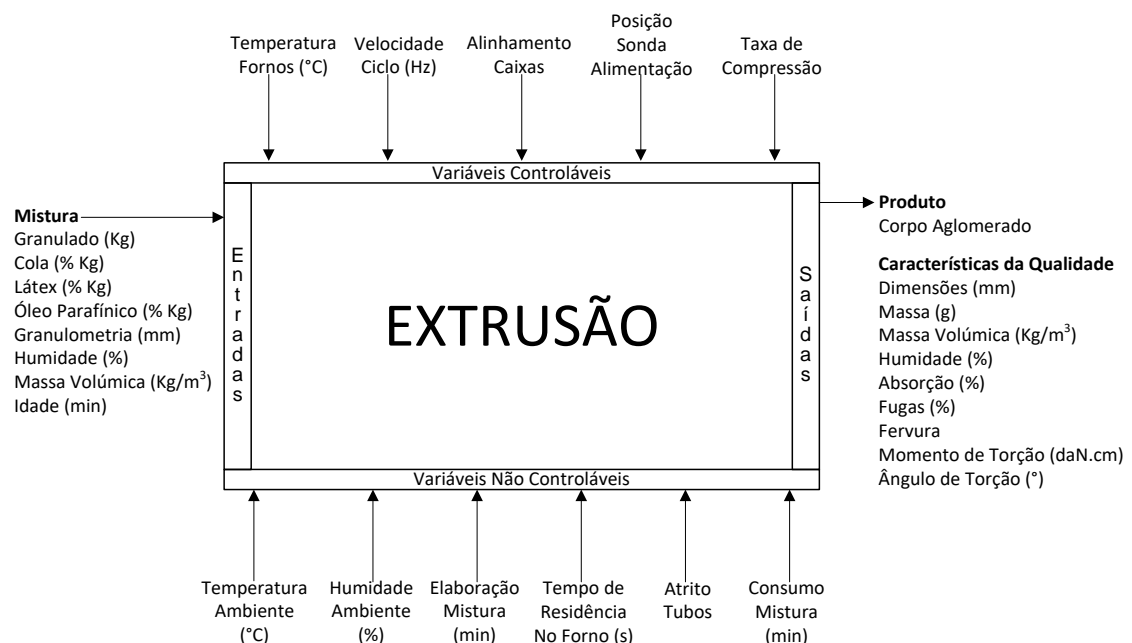


Figura 4.1 - Esquema Representativo do Processo de Extrusão

Presente na Equipar desde o ano de 2001, a extrusão divide-se em duas zonas distintas: a Extrusão da Twin-Top (TT) e a Extrusão da Aglomerada (AGLO), perfazendo um total de 7 linhas.

O procedimento é idêntico nos dois casos, a diferença reside no tipo de corpos produzidos e na finalidade dos mesmos.

Cada uma das linhas de extrusão é composta por 8 máquinas com 50 tubos e dois lados diferenciados: o lado A e o lado B. E a cada uma destas linhas, encontra-se associada uma misturadora, que é sustentada por um tegão de alimentação.

4.2. A Elaboração da Mistura

A mistura utilizada é preparada de acordo com o tipo de granulado empregue e tendo em conta a altura do ano. Para tal, são aplicados os chamados agentes aglomerantes – o látex, o óleo parafínico e a cola – com base nas receitas pré-estabelecidas e respeitando as especificações pretendidas.

Numa fase inicial, o granulado contido no tegão situado imediatamente acima da misturadora, começa por ser transferido para a mesma com o auxílio de uma eclusa e segundo um doseamento volumétrico. A contagem do número de voltas dadas pela eclusa é determinada por um sensor ótico, e deste modo é garantida a quantidade de granulado pretendida. Por norma, a eclusa executa 88 voltas por cada 70 kg de granulado consumido.

De seguida, a humidade superficial do granulado é verificada pelo operador responsável através do dispositivo Aqua-Boy. Se o valor determinado se encontrar abaixo do pretendido é adicionada água. Em média é acrescentado 1L de água por cada 1% de humidade que se pretende incrementar, até um máximo de 2L para 100 kg de mistura. Por outro lado, se o valor se encontrar acima do pretendido é promovida a agitação do granulado para que ocorra a perda de alguma da humidade em excesso.

No entanto, se a humidade do granulado for inferior a 4% ou superior a 14%, não é realizado qualquer tipo de ajuste, e o granulado é imediatamente segregado.

Sabendo de antemão que a água tem um efeito catalítico na reação de polimerização, é necessário ter uma atenção redobrada quando se procede ao acerto da humidade através da adição de água no sistema, correndo-se o risco de ter uma aglomeração ineficiente quando quantidades de água superiores às pretendidas são adicionadas.

Para uma mistura de granulado RCT, a especificação situa-se entre os 7,5 e os 8,5 % de humidade.

Na etapa que se segue são adicionados os produtos químicos. Esta adição é feita produto por produto, com intervalos de tempo bem definidos e destinados ao período de mistura entre cada um dos componentes. É seguida uma ordem específica de adição, que começa com a cola, passa para o látex, e termina com o óleo parafínico.

Os produtos encontram-se acondicionados em contentores IBC (*Intermediate Bulk Container*), assentes em balanças, numa zona própria e climatizada, já que a temperatura influencia significativamente a viscosidade da cola, e devendo a mesma se situar acima dos 20°C, aquando a sua utilização, para que a mistura da cola com o granulado seja eficiente.

O abastecimento dos produtos, a cada uma das misturadoras, é possível através da existência de bombas de membranas, e as quantidades a fornecer são determinadas pela comunicação estabelecida entre as electroválvulas, presente nas imediações das misturadoras, e as balanças. Este método carece de rigor, o que implica inevitavelmente desvios nas porções dos produtos fornecidos.

O método descrito é ligeiramente diferente na linha 4 da AGLO, onde, e com o intuito de diminuir as amplitudes dos desvios mencionados, potenciando o mínimo de desperdício e o máximo de rigor, foi implementado recentemente um sistema de doseamento automático. Neste caso, a pesagem dos produtos a adicionar é feita junto do seu ponto de alimentação, por balanças individuais, próprias e de pequenas dimensões. Comparações entre os dois métodos de dosagem foram efetuadas e as respetivas considerações foram tecidas, tendo por base as medições levadas a cabo.

Além do exposto, é também importante perceber o papel que cada um dos agentes aglomerantes desempenha, e o porquê de serem utilizados.

A cola, é um pré-polímero de poliuretano resultante da reação entre polióis e diisocianato de tolueno (TDI), que se apresenta como um líquido ligeiramente amarelado e sem materiais em suspensão. O baixo teor em TDI livre reflete-se numa baixa reatividade, que, no entanto, deve de ser suficientemente elevada, para assegurar que a reação de polimerização ocorre no interior dos tubos da extrusora (Júlio,2016).

O látex, é um líquido branco de odor característico, que consiste numa mistura de partículas suspensas num meio aquoso, e é responsável por conceder ao bastão de cortiça a elasticidade necessária para que o mesmo cresça sem quebrar. É utilizado para promover o crescimento das partículas e a dispersão dos componentes na mistura, enquanto permite melhorar, tanto a elasticidade, como os valores de torção da própria rolha.

Por se tratar de um produto aquoso, questiona-se, se a existência de desvios no momento da sua adição podem contribuir para um excesso de humidade extrínseca, que à semelhança do que já foi referido para a adição da água, pode conduzir a um início precoce da reação de polimerização da cola.

O óleo parafínico é utilizado para facilitar a passagem dos bastões de cortiça formados através dos tubos das extrusoras, trata-se de um lubrificante líquido que não tem qualquer influência na reação de polimerização.

A quantidade deste composto é geralmente ajustada de acordo com a massa volúmica dos corpos produzidos nas linhas. Se a massa volúmica se encontrar acima do estipulado é dada ordem para aumentar a quantidade de parafina consumida, por outro lado, se a massa volúmica se encontrar abaixo do valor definido, a porção de parafina presente na mistura é reduzida.

Outro fator que poderá estar na origem de uma má aglomeração, e que ainda não foi aqui referido, é o facto da adição destes produtos ser feita através de um único ponto de alimentação, o que poderá culminar numa mistura pouco uniforme (Júlio, 2016). Verifica-se ainda a acumulação destes produtos junto do seu local de adição, e o escoamento intermitente, mesmo após cessado o seu abastecimento à mistura.

Enquanto que a quantidade do granulado a utilizar é estimada tendo por base a sua granulometria, o diâmetro do bastão a formar e o número de extrusoras em funcionamento na linha em questão, a quantidade dos produtos químicos é calculada como uma percentagem da quantidade de granulado.

Quando concluída, a mistura é armazenada no tegão de descarga, local onde permanece até ser totalmente consumida. A este intervalo de tempo, que não deve exceder os 45 minutos, dá-se o nome de idade da mistura. Uma vez excedido, a mistura é segregada.

4.3. A Alimentação das Linhas de Extrusão

Entre a misturadora e o tegão de descarga existe uma rede, que tem como objetivo impedir a passagem dos grumos e fiapos que se possam formar. É igualmente importante garantir que tanto a misturadora como o tegão ficam sem granulado das misturas anteriores, e que toda a mistura é escoada.

A limpeza dos resíduos da mistura, que se acumulam junto do local da injeção dos produtos químicos, também faz parte do procedimento de limpeza entre misturas, assim como a remoção do granulado depositado nos cantos do tegão.

A alimentação da mistura às máquinas extrusoras é realizada através de um carrinho de abastecimento. A transferência da mistura entre o tegão de descarga e o carrinho é promovida pela abertura das portas do próprio tegão, que por sua vez é regulada pelo sensor ótico colocado entre os dois equipamentos.

Cada uma das extrusoras encontra-se equipada com um sensor ótico, situado apenas num dos lados da caixa, que é responsável por emitir um sinal sempre que for necessário um novo abastecimento da mistura. O sinal é recebido, e como resposta, o carrinho desloca-se até à caixa da extrusora, depositando no seu interior a totalidade da mistura que traz consigo.

O abastecimento é realizado pela ordem em que o pedido é efetuado, e depois do mesmo, o carrinho regressa à sua posição inicial. Contudo, o carrinho não transporta

sempre a mesma quantidade de mistura, e só pode realizar o abastecimento solicitado se existir mistura disponível no tegão.

Para que o processo decorra de acordo com o planeado, e sem grandes imprevistos, é preciso garantir alguns aspetos, nomeadamente que as linhas de extrusão se encontram alinhadas com os respetivos carrinhos de abastecimento. Caso contrário, a distribuição da mistura entre os dois lados da caixa não será homogénea, o que se torna particularmente problemático quando existe acumulação no lado onde se localiza o sensor de alimentação.

Estes sensores devem de ser ajustados periodicamente, e a mistura deve de ser mexida pelo operador, pelo menos a cada 2 horas, não só para prevenir que seque e forme grumos nos cantos das caixas, mas também para promover a sua uniformização.

É crucial garantir que existe mistura disponível e suficiente para satisfazer as necessidades de consumo das linhas em operação, e que não se verifica falta de granulado durante o fabrico da mesma.

A existência de uma divisão triangular, que separa os dois lados das caixas das máquinas extrusoras, bem como a instalação dos “chapéus” em aço inoxidável, surgiram na sequência de esforços para combater as questões de distribuição da mistura, quer pelos lados da caixa quer pelos próprios tubos da extrusora. Na linha 4 da AGLO foi ainda instalado um sistema com pás mexedoras, responsável por simular a ação do operador, varrendo a mistura, em média, a cada 10 minutos.

Já no interior das caixas, e por ação da gravidade, a mistura é depositada nos armazéns, e posteriormente forçada a entrar no interior dos tubos, pela ação contínua dos pistões. Estes tubos são aquecidos por um forno, onde a temperatura é assegurada pela presença de resistências, sendo que o número de resistências, bem como a posição das mesmas varia de máquina para máquina.

É a passagem da mistura pelo forno que permite que a cola polimerize e consequentemente que ocorra a formação do bastão.

A extrusão ocorre entre os 115 e os 120 °C, e o tempo de residência no forno deverá ser o suficiente para garantir uma aglomeração eficaz.

Como resultado, obtém-se um bastão de cortiça aglomerada, extraído continuamente, que demora aproximadamente 13 minutos até atingir o sensor de pressão.

Uma vez atingido o sensor, é dado o sinal à serra de corte, e são produzidos os corpos aglomerados com o comprimento pretendido, que pode ser regulado mediante a alteração da posição do sensor.

Os corpos produzidos seguem então, num tapete rolante, para os cestos que se encontram no fim das linhas, e posteriormente são encaminhados para a zona de retificação (Figura 4.2).

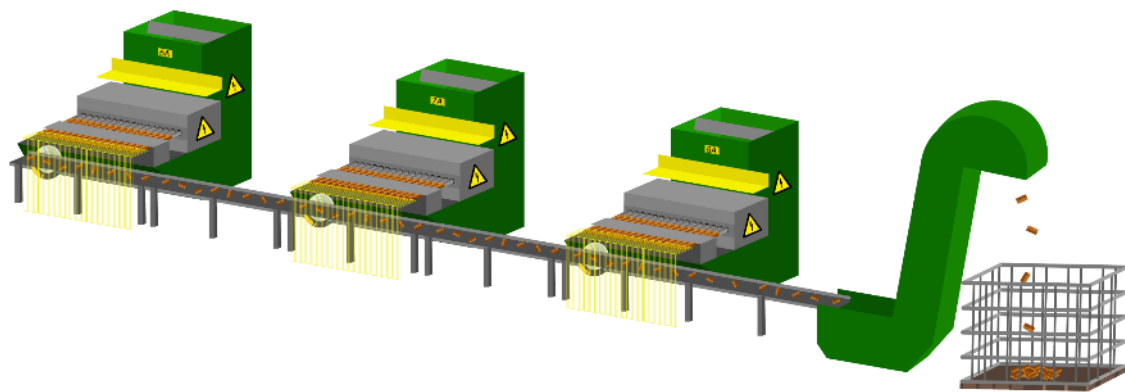


Figura 4.2 - Esquema Representativo de uma Linha de Extrusão



Os Materiais e Métodos

5.1. Caracterização Histórica da Absorção

Teste da Bomba Hidrostática

Numa fase inicial, e com o intuito de caracterizar o problema, recorreu-se aos dados históricos referentes aos valores de absorção, obtidos no Teste da Bomba Hidrostática para os últimos 2 anos.

Segundo o CIPR, é necessária uma polimerização completa da cola para garantir uma boa aglomeração dos corpos.

Para avaliar esta condição, é realizado semanalmente o Teste da Bomba Hidrostática, no qual os corpos submersos em água são sujeitos a uma pressão de 6 bar, durante 24 horas. Após este período, os corpos repousam em papel de filtro cerca de 1 hora e posteriormente são colocados numa estufa, a 105°C e por 36 horas. De seguida os corpos seguem para um exsicador, onde permanecem 2 horas, de modo a estabilizar o seu peso.

Todos os corpos utilizados no ensaio são pesados, individualmente, depois da sua permanência na bomba (m_2) e na estufa (m_3), utilizando-se para tal uma balança analítica com resolução de 0,01 g; e a percentagem de água retida é determinada pelo cálculo presente na Equação 5.1.

$$Absorção (\%) = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_3} \right) \cdot 100 \quad (5.1)$$

Onde:

m_2 – massa após bomba (g)

m_3 – massa após estufa (g)

Consoante o valor apurado, a absorção (ABS) do corpo é classifica em 3 níveis distintos (Tabela 5.1), que refletem a capacidade de maior ou menor retenção de água.

Tabela 5.1 - Níveis de Absorção para o Teste da Bomba Hidrostática

BOM	MÉDIO	MAU
ABS < 30%	30 % ≤ ABS ≤ 36 %	ABS > 36 %

O resultado é dado pela média dos valores individuais obtidos, e a interpretação do mesmo permite então perceber a eficácia e estabilidade da aglomeração do corpo.

De acordo com os critérios de aceitação internamente definidos, é necessário que a percentagem de corpos no nível “BOM” seja igual ou superior a 70%. Esta restrição é acompanhada de outras 3, que requerem que a percentagem de corpos no nível “MÉDIO” seja inferior a 30%, a percentagem de corpos “MAUS” inferior a 10%, e a soma destes 2 níveis inferior a 30%.

Análise dos Efeitos Principais

Para analisar os efeitos principais, associados ao valor de absorção dos corpos extrudidos na Equipar recorreu-se ao software *Minitab*.

O *Minitab* calcula o tamanho do efeito através da amplitude entre a maior e a menor média da resposta em estudo, associada a um determinado fator.

Para determinar se um efeito principal está presente numa das variáveis categóricas, é necessário analisar o comportamento da linha que une a resposta média dos distintos níveis dessa mesma variável.

Esta análise é facilitada pela linha de referência da média geral dos dados, a linha representada a tracejado, e deve de ser realizada da seguinte forma:

- **Linha horizontal:** uma linha paralela ao eixo x revela a não existência de um efeito principal, neste caso a média da resposta é a mesma para todos os níveis de fator;
- **Linha não horizontal:** os níveis de um fator afetam a resposta de forma distinta, o que indica a presença de um efeito principal. A magnitude deste efeito depende então da inclinação da linha. Quanto maior a inclinação da linha maior a expressão do efeito principal na resposta em análise.

A Tabela 5.2 resume a metodologia utilizada na Análise dos Efeitos Principais desenvolvida na presente dissertação. No total estudaram-se 10 variáveis categóricas, tendo-se analisado 3 níveis distintos para cada uma delas, com exceção da variável “Estação” para a qual foram contabilizados apenas 2 níveis.

No caso do fator “Massa Volúmica”, para que os valores possam ser interpretados sem a influência da humidade do granulado, foi necessário corrigir a mesma para 8 % de humidade. Esta correção foi através da Equação 5.2.

$$MV\ 8\% = MV \cdot \frac{(100-H)}{92} \quad (5.2)$$

Onde:

MV 8% – Massa volúmica granulado corrigida para 8% de humidade (Kg/m³);

MV – Massa Volúmica (Kg/m³);

H – Humidade do granulado (%).

Tabela 5.2 – Resumo das Variáveis e dos Respetivos Níveis utilizados na Análise dos Efeitos Principais

Variável Categórica	Níveis/Especificação do Nível		
Origem Granulado	RH.MO	ROSA.HT	TRIT
	<i>Micro-ondas</i>	<i>ROSA HITEC</i>	<i>Trituração</i>
Massa Volúmica 8%	ALTO	BAIXO	DENTRO
	$> 72 \text{ Kg/m}^3$	$< 68 \text{ Kg/m}^3$	$68 \geq \text{Kg/m}^3 \leq 72$
Humidade Granulado	ALTO	BAIXO	DENTRO
	$> 9,5 \% H$	$< 7,5 \% H$	$7,5 \geq \% H \leq 9,5$
Turno	T1	T2	T3
Cola	COLA 1	COLA 2	COLA 3
Látex	LÁTEX 1	LÁTEX 2	LÁTEX 3
Parafina	NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3
	$1 \leq \text{Kg} > 2$	$2 \leq \text{Kg} > 3$	$\geq 3 \text{ Kg}$
Humidade Relativa	ALTO	BOM	MÉDIO
	$< 40 \% HR$	$> 50 \% HR$	$40 \leq \% HR \leq 50$
Temperatura	ALTO	BOM	MÉDIO
	$> 30 ^\circ\text{C}$	$< 25 ^\circ\text{C}$	$25 \leq ^\circ\text{C} \leq 30$
Estação do ano	INVERNO	VERÃO	
	<i>Janeiro-Março</i>	<i>Abril-Outubro</i>	
	<i>Novembro-Dezembro</i>		

5.2. Análise dos Modos de Falha e Efeitos (AMFE)

O estudo da problemática da desaglomeração, mediante a Análise dos Modos de Falha e Efeitos, constituiu uma etapa extremamente relevante, pois permitiu de forma intuitiva, não só identificar e adquirir informações que contribuíram diretamente para o conhecimento do processo e para a identificação das maiores fontes de input do sistema, mas também definir os aspetos cruciais a analisar assim como traçar um plano de ação.

A metodologia aplicada assentou nos seguintes passos:

1. Criação de um grupo de melhoria multidisciplinar para o processo de extrusão, constituído por:
 - Diretor Industrial;
 - Responsável da Qualidade

- Responsável do Controlo de Processo;
 - Responsável da Produção;
 - Técnica do Controlo de Processo;
 - Estagiária.
2. Restrição do problema, através de um brainstorming, onde foi partilhado o conhecimento comum sobre o tema em estudo. E onde, tanto as causas, como os fatores apontados como potenciais influentes do problema, foram analisados e organizados em grupos, mediante a criação de um Diagrama de Ishikawa e de acordo com o procedimento dos 6M's:
- Máquina;
 - Materiais;
 - Mão-de-Obra;
 - Meio Ambiente;
 - Métodos;
 - Medidas.
3. Como o número de causas apurado, e respetivas subcausas adjacentes, tornou-se demasiado extenso, decidiu-se pontuar cada uma delas, recorrendo para tal ao cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR), indicado pela Equação 5.2. A escala utilizada para cada um dos fatores mencionados, é apresentada nas Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4.

$$NPR = Severidade (S) \times Ocorrência (O) \times Detecção (D) \quad (5.3)$$

4. Uma vez determinado o NPR, foi possível identificar quais os ramos em análise que necessitavam de maior atenção, tendo-se posteriormente desenvolvido e posto em ação um plano direcionado para essas mesmas áreas.

Tabela 5.3 – Tabela Índices de Severidade [Adaptado de: (McDermott, Mikulak, & Beauregard, 2009)]

Efeito	Severidade do Efeito	Índice de Severidade
Perigoso	O modo de falha afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental, sem aviso prévio.	10 - 9
Muito alto	Produto/Item inoperável, com perda das funções primárias.	8
Alto	Produto/Item operável, mas com baixo nível de desempenho. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Produto/Item operável, mas com baixo nível de conformidade baixo. Cliente insatisfeito.	6
Baixo	Produto/Item operável, mas com nível de conformidade e/ou desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito Baixo	Forma e acabamento do produto não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Forma e acabamento do produto não conforme. Defeito notado por alguns clientes.	3
Muito Menor	Forma e acabamento do produto não conforme. Defeito notado por clientes minuciosos.	2
Nenhum	Sem efeito.	1

Tabela 5.4 - Tabela Índices de Detecção [Adaptado de: (McDermott, Mikulak, & Beauregard, 2009)]

Efeito	Severidade do Efeito	Índice de Detecção
Quase Impossível	Não é conhecido um controlo disponível para detetar o modo de falha.	10
Muito Remota	Probabilidade muito remota de o controlo atual detetar o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota de o controlo atual detetar o modo de falha.	8
Muito Baixa	Probabilidade muito baixa de o controlo atual detetar o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa de o controlo atual detetar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada de o controlo utilizado detetar um a causa do modo de falha em estudo.	5
Moderadamente Alta	Probabilidade moderadamente alta de o controlo atual detetar o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de o controlo atual detetar o modo de falha.	3
Muito Alta	Probabilidade muito alta de o controlo atual detetar o modo de falha.	2
Quase Certamente	O controlo atualmente utilizada deteta, quase certamente, o modo de falha em estudo. A confiança no controlo de deteção é conhecida em processos idênticos.	1

Tabela 5.5 - Tabela Índices de Ocorrência [Adaptado de: (McDermott, Mikulak, & Beauregard, 2009)]

Efeito	Taxa de Falhas Possíveis por Hora	Índice de Ocorrência
Muito alta: A falha é praticamente inevitável.	≥ 1 em 2	10
	≥ 1 em 3	9
Alta: A falha é frequente.	1 em 8	8
	1 em 20	7
	1 em 80	6
Moderada: A falha é ocasional, mas existente.	1 em 400	5
	1 em 2000	4
Baixa: O processo apresenta poucas falhas.	1 em 15000	3
Muito baixa: O processo apresenta apenas falhas isoladas.	1 em 150000	2
Improvável: A falha é improvável.	1 em 1500000	1

5.3. Análise das Condições Operatórias

A. Verificação da Temperatura das Extrusoras

Objetivo: Aferir se as temperaturas dos fornos das máquinas extrusoras se encontram dentro da especificação ($115 \pm 3^\circ\text{C}$).

Amostragem: Foram efetuadas 192 medições por linha, o que corresponde a 24 medições por máquina. Os dados recolhidos foram posteriormente analisados tendo por base os conceitos estatísticos presentes no Anexo B.

Material Utilizado:

- Termómetro Fluke 54 II B equipado com 2 termopares do tipo K (T1 e T2) e com um erro associado de $\pm 5^\circ\text{C}$;
- Cronómetro;
- Folha de Registo.

Procedimento:

1. Registrar o valor que o set-point da máquina extrusora indica;
2. Inserir o termopar T1 na extremidade esquerda do forno e o termopar T2 no centro, deixar estabilizar durante 15 minutos e registar as temperaturas;
3. Inserir o termopar T1 no centro e o termopar T2 na extremidade direita do forno, deixar estabilizar durante 15 minutos e registar as temperaturas;
4. Realizar o procedimento para cada lado das máquinas extrusoras que compõem as linhas 3 e 4 da extrusão AGLO.

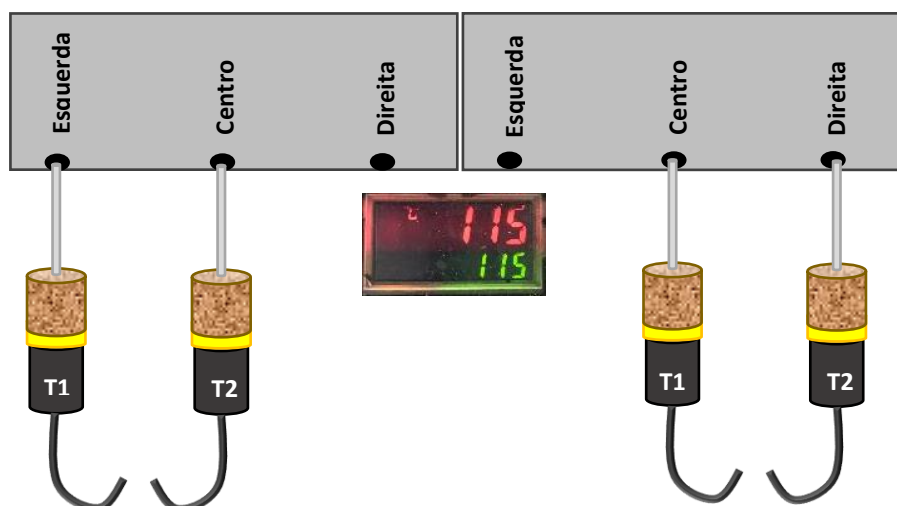


Figura 5.1 - Esquema Representativo da Verificação das Temperaturas das Extrusoras

B. Verificação do Crescimento de Bastão nas Extrusoras

Objetivo: Aferir se o crescimento do bastão nas linhas de extrusão se encontra dentro dos valores pretendidos e definidos pela especificação interna (3-3,5 cm/min).

Amostragem: Para cada linha foram efetuadas 718 medições, o que equivale a aproximadamente 90 valores por máquina. Os dados recolhidos foram posteriormente analisados tendo por base os conceitos estatísticos presentes no Anexo B.

Material Utilizado:

- Marcador;
- Cronómetro;
- Fita Métrica;
- Folha de Registo.

Procedimento:

1. Com o marcador, efetuar uma risca no bastão junto à extremidade dos tubos;
2. Cronometrar 3 minutos;
3. Voltar a traçar uma risca com o marcador, junto da extremidade dos tubos;
4. Com a fita métrica, medir a distância entre as duas riscas;
5. Para obter o crescimento do bastão em cm/min basta dividir o valor determinado no ponto 4 pelos 3 minutos cronometrados.

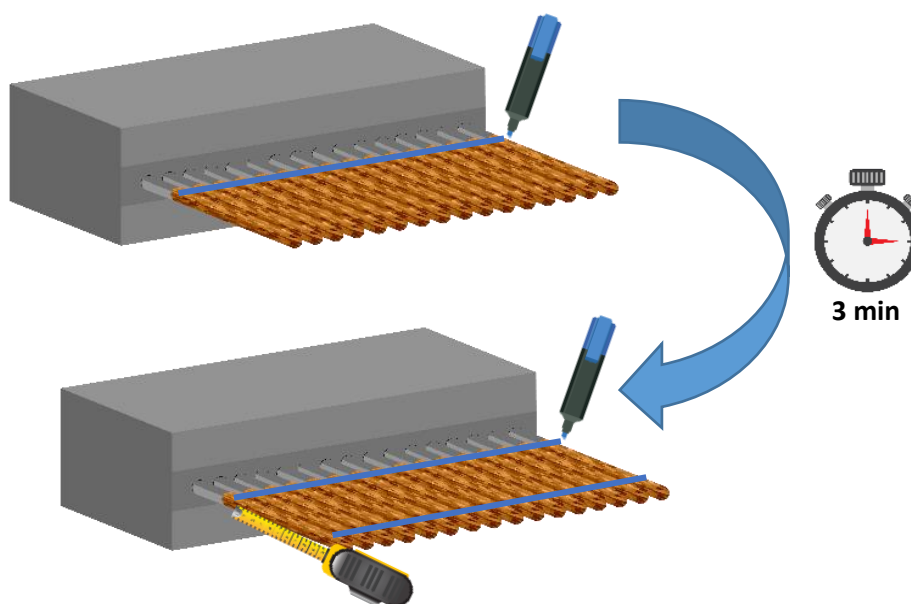


Figura 5.2 - Esquema Representativo da Verificação do Crescimento de Bastão das Extrusoras

5.4. Verificação do Doseamento dos Produtos Químicos

Objetivo: Comparar os métodos de dosagem e determinar se existem desvios nas quantidades de cola, látex e óleo parafínico, adicionados durante a elaboração da mistura.

Amostragem: Para a linha 3 da extrusão AGLO, as massas utilizadas nos cálculos foram obtidas através de medições. No caso da linha 4, os valores foram retirados diretamente da consola. Foram analisadas 46 medições na linha 3 e 71 medições na linha 4.

Material Utilizado:

- Balde Cola;
- Copo Medidor Látex;
- Copo Medidor Óleo Parafínico;
- Balança Analítica com resolução de 0,01 g (*METTLER TOLEDO IND425*);
- Folha de Registo.

Procedimento:

1. Pesar os recipientes a utilizar e apontar o valor obtido na folha de registo (Tara do Recipiente);
2. Recolher os produtos junto da misturadora no momento da sua adição e pesá-los posteriormente (Massa do Produto);
3. Calcular o erro através da Equação 5.3.

$$Erro (\%) = \frac{Desvio}{Massa Parameterizada} \cdot 100 \quad (5.4)$$

Onde:

$$Desvio (Kg) = Massa Parameterizada - Massa Produto \quad (5.5)$$

$$Massa Produto (Kg) = Massa Total - Tara do Recipiente \quad (5.6)$$

5.5. Simulação da Reação de Reticulação da Cola

A. Influência do Tempo de Residência e da Temperatura dos Fornos

Objetivo: A reação de polimerização é influenciada por inúmeras variáveis. Acredita-se que a conjugação da temperatura com o tempo de residência dos bastões de cortiça no forno seja particularmente determinante para a eficiência da aglomeração.

Para averiguar esta hipótese, simulou-se a reação de polimerização da cola em laboratório, alterando a temperatura em função dos valores máximos (140 °C) e mínimos (90 °C) apurados nas linhas 3 e 4 da extrusão AGLO, tendo-se considerado também a temperatura ideal do processo em questão: os 115 °C.

Já para os tempos de cozedura, foi utilizado o intervalo de tempo requerido pela especificação do processo (15 minutos), e testaram-se ainda tempos superiores e inferiores ao pretendido, 25 e 5 minutos respetivamente.

Material Utilizado:

- Formas de Alumínio;
- Pipeta Graduada;
- Balança analítica com resolução de 0,01 g (*METTLER TOLEDO New Classic MF ML 3002*);
- Estufa (*PSelecta*);
- Cronómetro.

Reagentes:

- Cola (Pré-Polímero de TDI);
- Água Filtrada.

Procedimento:

1. Na balança, e com o auxílio da pipeta graduada, pesar 10g de cola para cada uma das 6 formas;
2. Na balança, pesar 0,85g de água filtrada, o equivalente a 8,5 % de humidade da massa total, e o correspondente ao caso ideal para uma mistura AGLO RCT;

3. Adicionar a água ao conteúdo da forma, agitando a mistura vigorosamente e sem parar;
4. Colocar as formas na estufa à temperatura pretendida e durante o tempo estipulado.

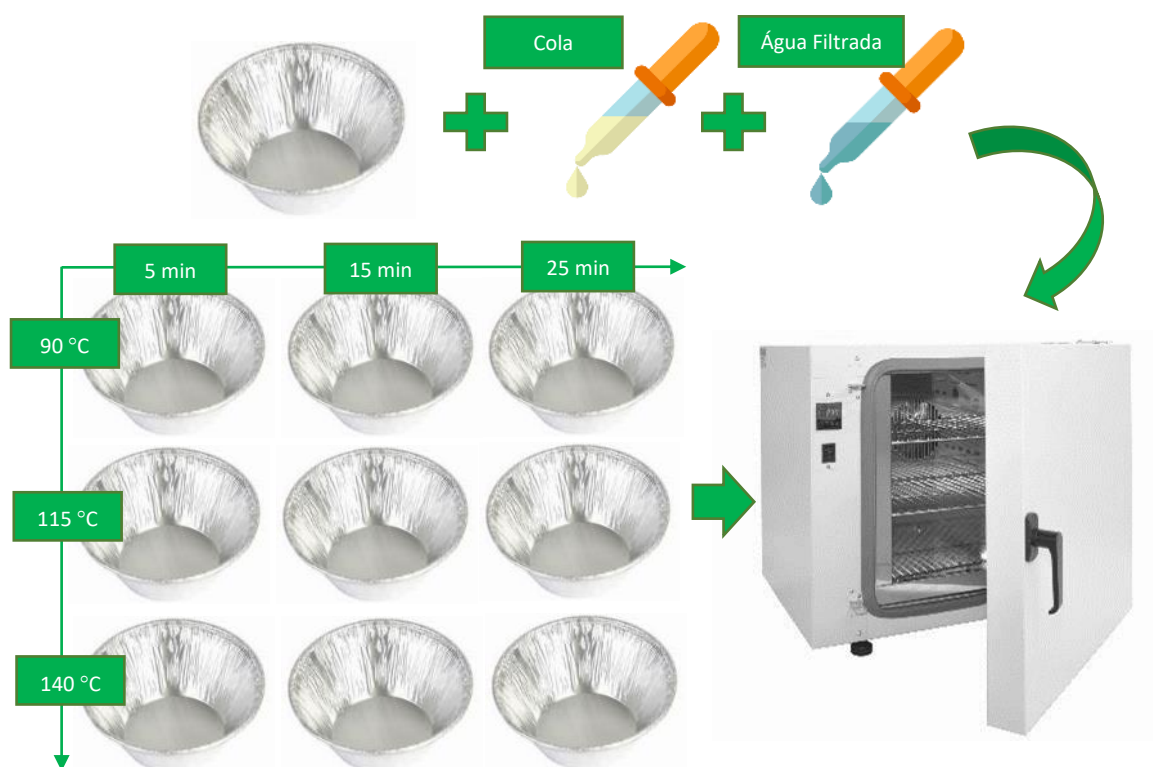


Figura 5.3 - Esquema Representativo do Processo de Simulação da Reação de Reticulação da Cola

B. Influencia da % de Água presente no Látex na Reação de Polimerização

Objetivo: Com o intuito de avaliar a possível influencia da percentagem de água, presente na constituição do látex, na reação de polimerização do pré-polímero de poliuretano, simulou-se em laboratório o processo de reticulação da cola. Para tal foram contabilizados os desvios apurados na verificação do doseamento dos produtos químicos nas linhas 3 e 4 da extrusão AGLO.

Utilizou-se um desvio de 49% (erro máximo na linha 3) e um desvio de 18% (erro máximo na linha 4), e realizou-se ainda o ensaio para a percentagem normalmente utilizada, que corresponde a um desvio de 0%, e para um desvio negativo na mesma.

Em todos os casos foram utilizadas as condições tidas como ideais no processo de extrusão: uma temperatura de 115°C, e um tempo de residência na estufa de 15 minutos.

Material: o mesmo material utilizado para a realização do ponto A.

Reagentes:

- Cola (Pré-Polímero de TDI);
- Látex;
- Água Filtrada.

Procedimento:

1. Realizar os passos 1, 2 e 3 do procedimento do ponto A;
2. Na balança, pesar a quantidade de látex equivalente ao cenário que se pretende simular;
3. Adicionar o látex ao conteúdo da forma, agitando novamente a mistura vigorosamente e sem parar;
4. Colocar as formas na estufa à temperatura de 115°C e durante 15 minutos.

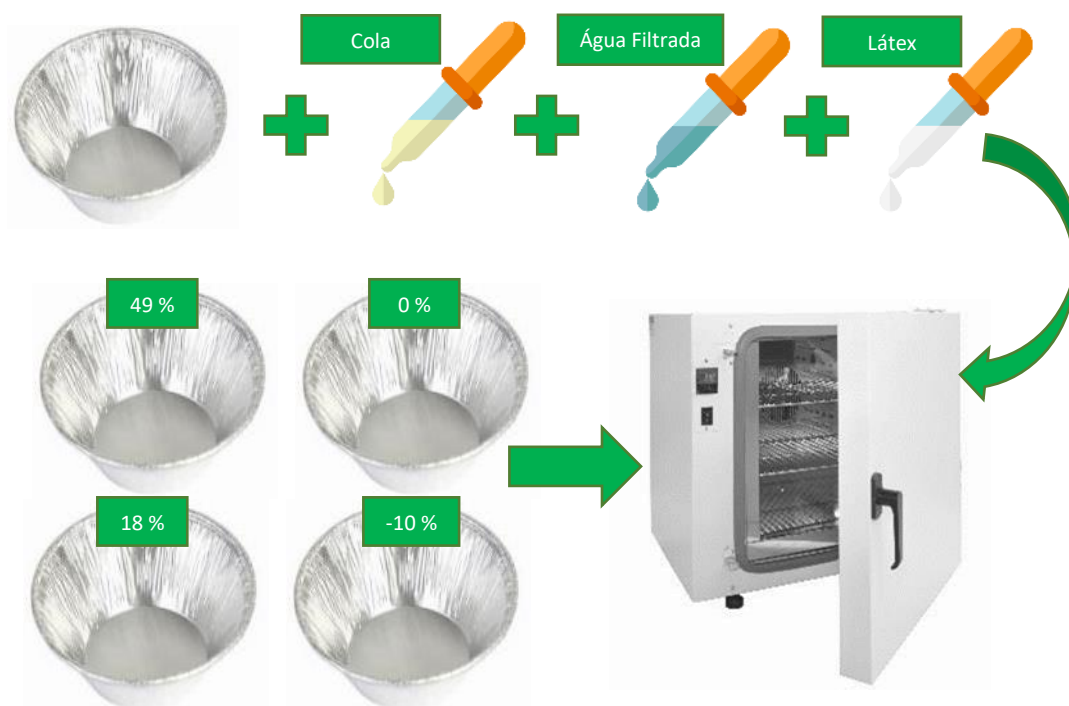


Figura 5.4 - Esquema Representativo do Processo de Simulação da Reação de Reticulação da Cola

5.6. Caracterização Absorção Linhas 3 e 4

Objetivo: Caracterizar a desagregação dos corpos nas linhas 3 e 4 da extrusão AGLO.

Amostragem: Foram recolhidos 80 corpos de cada uma das linhas, 10 por cada máquina (5 do lado A e 5 do lado B).

Procedimento: Os corpos foram submetidos ao Teste da Bomba Hidrostática, e os resultados foram analisados estatisticamente.

A relação entre a temperatura das extrusoras e a percentagem de absorção dos corpos também foi estudada. Para tal, foram medidas as temperaturas dos fornos, no momento da recolha da amostra de acordo com o procedimento apresentado no ponto 5.3. A.

Além disso, tentaram-se estabelecer as possíveis correlações existentes entre as características dos corpos e o fenómeno em estudo.

Com esse propósito em mente, os corpos foram introduzidos no *MedCork*, um aparelho inteligente e automático, desenvolvido especificamente para ser utilizado na indústria corticeira, e que permite a medição de várias características físicas das rolhas, tais como: o comprimento (L), o diâmetro (D), a humidade (H), a massa (M) e a massa volúmica (MV).

Todos os dados estudados, correspondem a dados contínuos e quantitativos, onde os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram confirmados através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Levene, respetivamente.

A análise dos dados foi possível através da utilização do software *Minitab*, e dos conceitos presentes no Anexo B (Pereira & Requeijo, 2012).

5.7. Ensaio Caixas sem Mistura

Objetivo: Avaliar a influencia do intervalo de tempo de caixa sem mistura na percentagem de absorção dos corpos extrudidos e consequentemente na qualidade da sua aglomeração.

Amostragem: Foram realizados 3 ensaios para cada uma das linhas. Em cada ensaio foram utilizados 10 corpos por intervalo de tempo de caixa sem mistura. Os corpos foram escolhidos aleatoriamente.

Os intervalos de tempo investigados foram definidos de acordo com os tempos de caixa sem mistura observados durante o estudo das linhas de extrusão, e correspondem a: 15 minutos, 30 minutos, 45 minutos e 75 minutos.

Para as 2 linhas, todos os corpos recolhidos e analisados foram retirados da máquina 8, por questões de logística. E entre as linhas, os ensaios foram conduzidos no mesmo dia para garantir a uniformidade das matérias-primas utilizadas na produção dos corpos, e evitar discrepâncias nas condições atmosféricas.

Procedimento:

1. Cessar a alimentação do carrinho à máquina em uso no respetivo painel de controlo;
2. Esperar que a máquina fique completamente sem mistura;
3. Cronometrar o intervalo de tempo de máquina sem mistura;
4. Após o tempo pretendido, voltar a abastecer a máquina com mistura e recolher os corpos formados;
5. Avaliar visualmente os corpos produzidos e posteriormente submetê-los ao Teste da Bomba hidrostática;
6. Repetir os pontos 1 a 5 para todos os intervalos de tempo que se pretendem estudar.

5.8. Simulação da Alimentação das Linhas em Excel

Com o intuito de otimizar a alimentação das linhas de extrusão, simulou-se o comportamento das mesmas em Excel.

O objetivo consiste em garantir uma performance semelhante nas diferentes linhas de extrusão, que o carrinho transporta a quantidade ideal de mistura e que a mesma permite satisfazer as necessidades de consumo de todas as extrusoras que constituem uma mesma linha, evitando-se assim os tão indesejados intervalos de tempo de caixa sem mistura.

Para tal, começou-se por criar uma base de dados com toda a informação recolhida durante o período de estágio, sendo a mesma constituída por: as secções existentes na Equipar, o número de linhas de extrusão, o tipo de granulado utilizado, os calibres de corpos que se podem produzir, a distância entre o carrinho e as respetivas caixas, a velocidade dos carrinhos, os tempos de atuação associados ao carrinho e os tempos de elaboração das misturas.

De seguida definiram-se as expressões essenciais ao cálculo dos parâmetros necessários:

Carrinho de Abastecimento

A Equação 5.7 permite determinar a quantidade de mistura a transportar pelo carrinho.

$$Qtd.Mistura Carrinho (Kg) = \frac{Qtd.Mistura Produzida}{N^{\circ} Abastecimentos por Mistura} \quad (5.7)$$

O intervalo de tempo que o carrinho demora a deslocar-se a cada uma das extrusoras é definido pela Equação 5.8.

$$\Delta t_{deslocação} = \frac{d_{carrinho-máquina(n)}}{v_{carrinho}} \quad (5.8)$$

Onde:

$d_{carrinho-máquina(n)}$ – Distância percorrida pelo carrinho até à máquina n;

$v_{carrinho}$ – Velocidade do carrinho.

O Δt Carga corresponde ao tempo que demora a abastecer o carrinho com mistura. Este valor depende do número de abastecimentos realizados por cada mistura efetuada, e é obtido pela Equação 5.9.

$$\Delta t_{carga} = Qtd_{\cdot Mistura Carrinho} (Kg) \times Abertura Tegão (min/Kg) \quad (5.9)$$

Corpos

O volume dos corpos produzidos determina-se pela Equação 5.10.

$$Volume Corpo (m^3) = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times L \quad (5.10)$$

Onde:

d – Diâmetro do corpo;

L – Comprimento do corpo.

O número de corpos produzidos por cada uma das extrusoras é nos dados pela expressão presente na Equação 5.11.

$$Corpos Produzidos (n) = \frac{Crescimento Bastão (n) \times \Delta t_{Operação}}{L \times N^{\circ} Tubos (n)} \quad (5.11)$$

Onde:

$Crescimento Bastão (n)$ – Velocidade de crescimento do bastão de cortiça;

$\Delta t_{Operação}$ – Tempo de operação da máquina extrusora;

$N^{\circ} Tubos (n)$ – Números de tubos operacionais na máquina extrusora.

Mistura

Sabendo a massa volúmica média dos corpos produzidos numa linha e o seu volume, é possível estimar o consumo de mistura por cada corpo produzido através da Equação 5.12.

$$Qtd. Mistura/Corpo = Massa Volúmica Corpo \times Volume Corpo \quad (5.12)$$

Com o nº de corpos produzidos e a quantidade de mistura necessária por cada corpo calcula-se o consumo de mistura por extrusora, utilizando para tal a Equação 5.13.

$$Consumo Mistura (n) = Qtd. Mistura/Corpo \times Corpos Produzidos (n) \quad (5.13)$$

O tempo total correspondente à elaboração da mistura é distinguido em 2 parcelas e pode ser traduzido pela Equação 5.14.

$$\Delta t_{mistura} = \Delta t_{preparação} + \Delta t_{entre misturas} \quad (5.14)$$

Onde:

$\Delta t_{preparação}$ – Valor fixo, característico de cada linha e que corresponde ao período efetivo de preparação de uma mistura;

$\Delta t_{entre misturas}$ – Intervalo de tempo que decorre entre o início de duas misturas consecutivas.

Cenários de Abastecimento

Para a presente simulação ter sucesso, é necessário contabilizar todos os cenários de abastecimentos possíveis, e plausíveis.

Definiu-se então que apenas seriam estudados os cenários que por mistura permitiam abastecer 4 a 8 máquinas, uma vez que nos outros se corria o risco de o tempo de vida da mistura ultrapassar os 45 minutos, o que tornava o seu consumo pouco viável. Isto porque a quantidade de mistura transportada pelo carrinho revelava-se elevada para o consumo que as máquinas apresentavam.

Para a 1ª ronda de abastecimentos considerou-se o cenário idêntico ao do arranque das linhas, onde as máquinas são abastecidas por ordem, começando pela 1ª e terminando na 8ª.

Nas rondas em a quantidade de mistura transportada pelo carrinho não permitia abastecer todas as máquinas numa só ronda de abastecimentos, assumiu-se que essas mesmas máquinas seriam as primeiras a serem alimentadas nas rondas seguintes. A partir desse ponto qualquer outra máquina poderia ser alimentada.

Os cenários em que a mesma máquina era alimentada duas vezes, na mesma ronda de abastecimentos, não foram considerados.

Para gerar a totalidade das combinações possíveis recorreu-se ao Excel e utilizou-se o Visual Basic (Anexo C) (Macoratti, 2020). No total analisaram-se mais de 1100 cenários, tendo por base o esquema da Figura 5.5 e utilizando a lógica presente na Figura 5.6.

Cálculos de Abastecimentos da Linhas

A Equação 5.15 permite determinar o instante em que a máquina é alimentada, sendo o consumo da mesma contabilizado a partir do momento em que é abastecida pela 1ª vez.

Por cada mistura produzida (m), inicia-se uma nova ronda de abastecimentos, sendo que, em cada ronda, o número de abastecimentos efetuados é condicionado diretamente pela quantidade de mistura transportada pelo carrinho.

O pedido de alimentação é realizado pela sonda posicionada no interior da extrusora. Após este, o carrinho começa por ser abastecido pelo tegão de descarga (Δt_{carga}), arranca ($\Delta t_{arranque}$) e desloca-se até à caixa ($\Delta t_{deslocação (n)}$), onde deposita todo o conteúdo que transporta consigo ($\Delta t_{descarga}$). Sendo o processo descrito repetido, para cada uma das máquinas que é alimentada.

$$t_{(m,n,i)} = \begin{cases} (\Delta t_{mistura} \times m) + \Delta t_{carga} + \Delta t_{arranque} + \Delta t_{deslocação (n)} + \Delta t_{descarga} , & \text{se } i = 1 \\ T_{j(m,n,i-1)} + \Delta t_{deslocação (n-1)} + \Delta t_{carga} + \Delta t_{arranque} + \Delta t_{deslocação (n)} + \Delta t_{descarga} , & \text{se } i > 1 \end{cases} \quad (5.15)$$

Onde:

m – Nº da mistura produzida;

n – Nº da máquina extrusora;

i – Nº do abastecimento dentro da mesma ronda;

$\Delta t_{arranque}$ – Intervalo de tempo que o carrinho demora a arrancar após ser abastecido;

$\Delta t_{descarga}$ – Intervalo de tempo que o carrinho demora a despejar a mistura no interior da extrusora;

$\Delta t_{deslocação (n-1)}$ – Intervalo de tempo que o carrinho demora a deslocar-se desde a última máquina extrusora alimentada até à sua posição inicial.

Partindo do instante em que ocorre o abastecimento mais recente de uma máquina, e sabendo a sua taxa de consumo, assim como a quantidade de mistura transportada pelo carrinho, é possível, a partir da Equação 5.16, estimar o momento em que a mesma fica sem mistura.

$$t_{sem mistura}(n) = t_{(m-1,n,i)} + \frac{Qtd.Mistura Carrinho}{Consumo Mistura (n)} \quad (5.16)$$

A diferença entre o instante em que a máquina é novamente abastecida, e o instante em que a máquina fica sem mistura, possibilita a determinação do intervalo de tempo de caixa sem mistura (Equação 5.17).

$$\Delta t_{sem\ mistura}(n) = t_{(m,n,i)} - t_{sem\ mistura}(n) \quad (5.17)$$

Se $\Delta t_{sem\ mistura}(n) > 0$, significa que a máquina fica efetivamente sem mistura durante o período determinado. Por outro lado, se $\Delta t_{sem\ mistura}(n) < 0$, significa que a máquina é alimentada antes de ficar sem mistura.

O passo final da simulação consiste na exibição de uma tabela resumo, na qual, para cada um dos números de abastecimentos efetuados por ronda estudados, e considerando todos os cenários possíveis e associados aos mesmos, são apresentados os melhores e os piores tempos de caixa sem mistura determinados.

Tanto para o $\Delta t_{sem\ mistura}(n)$ máximo como para o $\Delta t_{sem\ mistura}(n)$ mínimo foram apurados os valores mais altos (máximos) e os valores mais baixos (mínimos).

Para garantir que o número de abastecimentos por ronda é o ideal para satisfazer as necessidades de consumo da linha em análise, é necessário que o valor determinado para os 4 intervalos de tempos mencionados seja menor que 0. Apenas desta forma é assegurada a inexistência de períodos de caixa sem mistura.

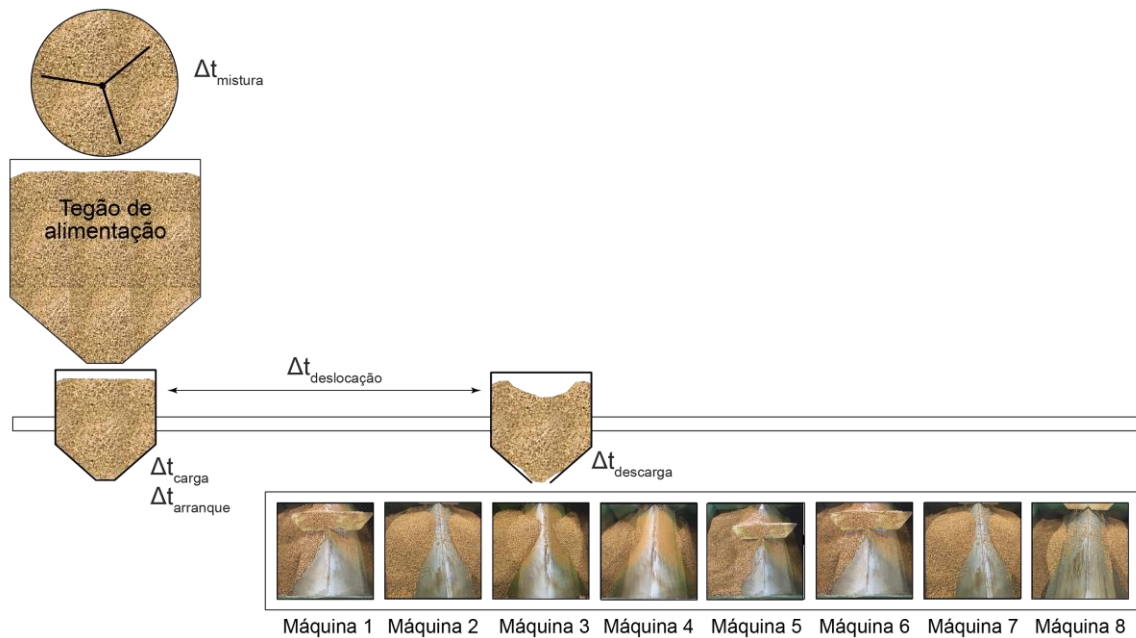


Figura 5.5 -Esquema Representativo da Sequência de Alimentação das Linhas de Extrusão

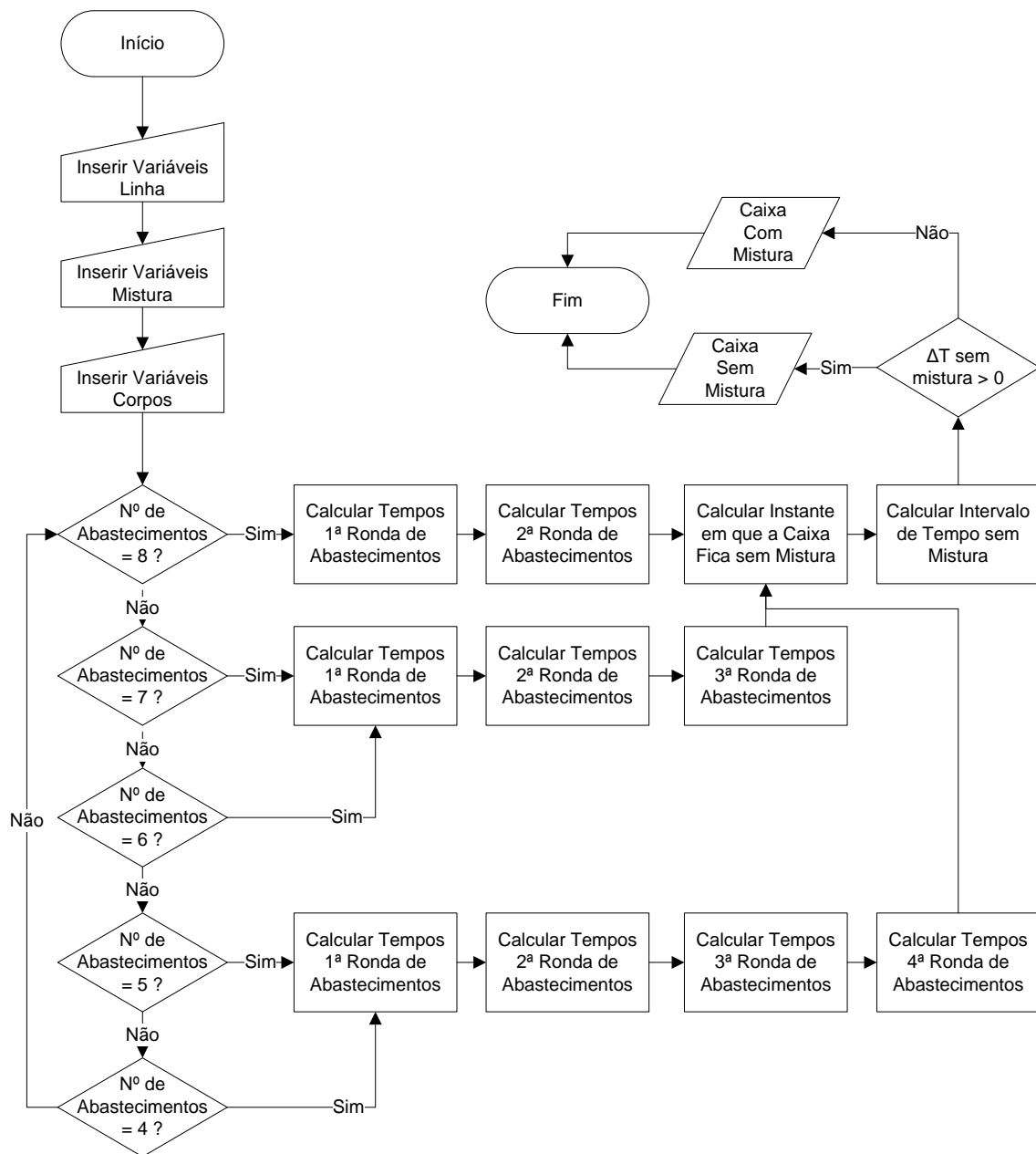


Figura 5.6 - Fluxograma Simulação da Alimentação das Linhas de Extrusão em Excel

5.9. Evolução do Fenômeno de Absorção no Processo

Objetivo: Avaliar o comportamento de absorção, por parte das rolhas aglomeradas para espumosos, nas diferentes etapas do processo, e a influencia do tempo de estabilização no mesmo.

Amostragem: 600 rolhas por ensaio, 200 por etapa, 50 por cada um dos 4 tempos de estabilização estudados: sem estabilização, 1 semana de estabilização, 1 mês e 2 meses.

Procedimento: Foram realizados 2 ensaios. No 1º ensaio avaliou-se apenas a percentagem de absorção das rolhas aglomeradas, e no 2º ensaio contabilizou-se também a humidade presente nas rolhas.

Os corpos foram recolhidos aleatoriamente da linha 3 da extrusão AGLO, e os ensaios realizados em rolhas devidamente retificadas para um calibre igual a 47x29,5.

Das 600 rolhas, 200 foram colocadas de parte e as restantes seguiram para lavação, onde foi utilizado o programa CLEAR 0, por ser o comumente utilizado neste tipo de rolhas. Uma vez mais, das 400 rolhas foram retiradas 200, e as que sobraram foram encaminhadas para a etapa tratamento de superfície (Figura 5.7)

Todas as rolhas foram submetidas ao Teste da Bomba Hidrostática, após serem analisadas pelo *MedCork*. Para as rolhas observadas no grupo sem tempo de estabilização o teste foi realizado no próprio dia da recolha, as restantes foram armazenadas na fábrica, onde aguardaram até serem analisadas.

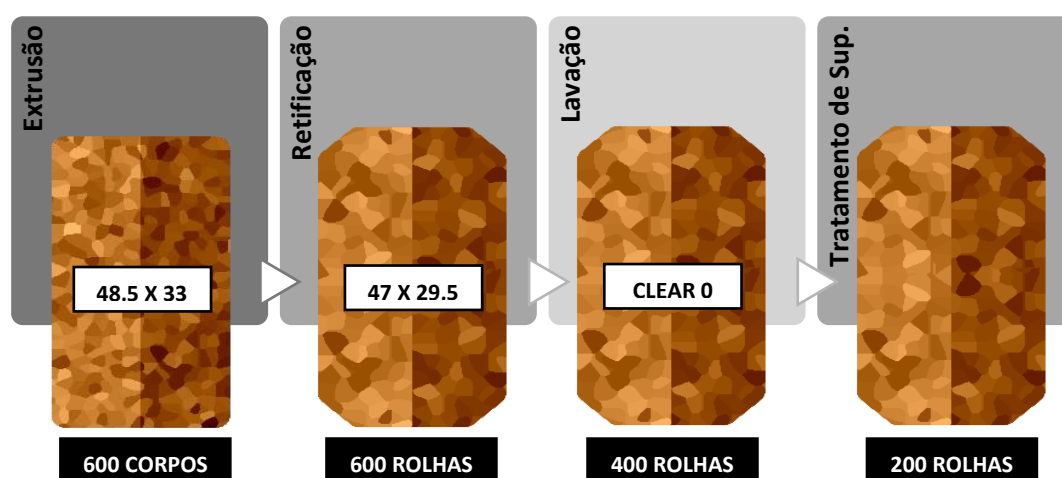


Figura 5.7 - Esquema Representativo do Método de Amostragem Utilizado

5.10. Método Expedito para o Teste da Bomba Hidrostática

Objetivo: Reduzir o tempo para a obtenção dos resultados de absorção dos corpos.

Método: Por norma, os corpos utilizados no Teste da Bomba Hidrostática são apenas pesados após a sua permanência na bomba (m_2) e após a sua permanência da estufa (m_3).

No entanto, durante a caracterização da absorção nas linhas 3 e 4 (ponto 5.6), decidiu-se pesar os corpos antes de os mesmos serem introduzidos na bomba (m_1), sendo assim possível contabilizar também a relação existente entre essas 2 massas.

A relação mencionada é traduzida pela Equação 5.18, e baseia-se no cálculo tradicional da percentagem de absorção.

$$\text{Absorção}_{m_1-m_2} (\%) = \left(\frac{(m_1-m_2)}{m_2} \right) \cdot 100 \quad (5.18)$$

Onde:

m_1 – massa antes da bomba (g)

m_2 – massa após a bomba (g)

O novo método parte do pressuposto que sabendo a percentagem de Absorção $_{m_1-m_2}$ é possível estimar a percentagem de absorção real de uma rolha aglomerada.

Para determinar a eficácia, e a precisão do método descrito, foram realizados ensaios de validação independentes, onde a absorção, calculada a partir do mesmo, foi comparada com a absorção obtida pelo método convencional.

Para cada ensaio foram recolhidos, de forma aleatória, 50 corpos da linha 3, e realizado o Teste da Bomba Hidrostática.

A Apresentação e Discussão de Resultados

6.1. Caracterização Histórica da Absorção

Teste da Bomba Hidrostática

A Figura 6.1 resume o comportamento de absorção dos corpos de espumosos produzidos nas linhas de extrusão da Equipar, a partir de granulado do tipo RCT, para os anos de 2018 e 2019.

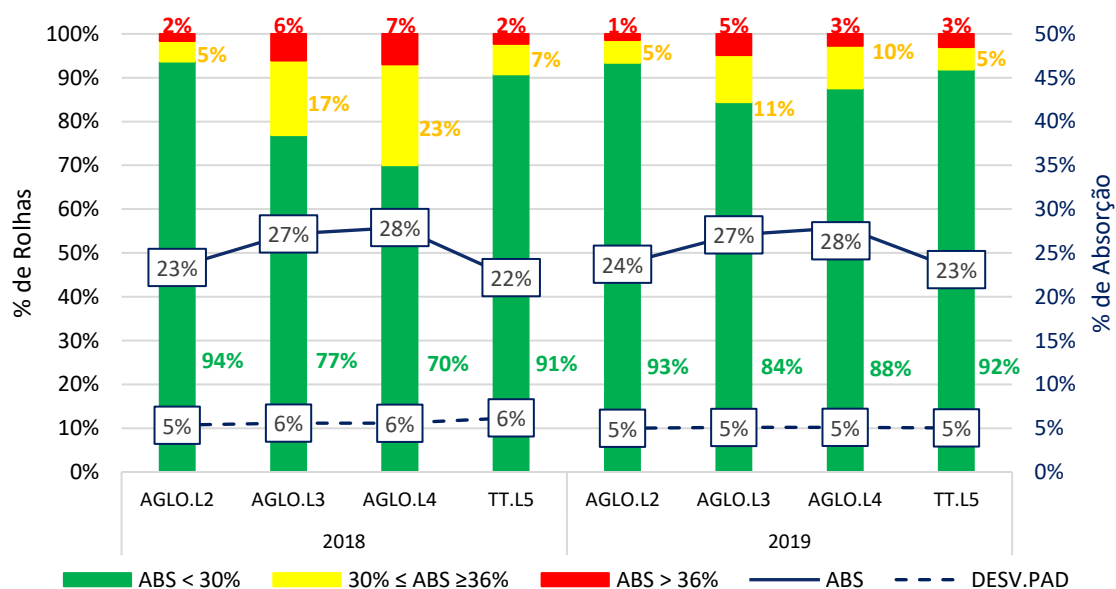


Figura 6.1– Evolução dos Valores de Absorção no Teste da Bomba Hidrostática (2018-2019)

Da observação direta dos dados, é fácil concluir que existe uma melhoria nos resultados obtidos para o Teste da Bomba Hidrostática no período mais recente, uma vez que a percentagem de corpos com absorções superiores a 36% diminui em 3 das 4 linhas estudadas. Este cenário é acompanhado por um aumento da percentagem de corpos com absorções inferiores a 30%, que se destaca principalmente nas linhas 3 e 4 da extrusão AGLO.

Aparentemente, a situação está controlada, os valores encontram-se dentro da especificação definida e os requisitos da norma do Teste da Bomba Hidrostática são cumpridos. Mas na realidade o panorama é diferente, e os relatórios semanais demonstram isso mesmo, com a súbita alternância entre valores pertencentes ao nível “BOM” e “MAU”.

Corpos com percentagens de absorção elevadas constituem uma questão grave para a empresa, podendo mais tarde refletir-se em problemas de performance mecânica e física na rolha, o que compromete a sua qualidade enquanto vedante.

Mantendo o foco nos corpos que apresentam uma percentagem de absorção superior a 36% (corpos rotulados como “maus vedantes”), para as linhas com maior evolução na janela de tempo estudada, obtém-se a Figura 6.2.

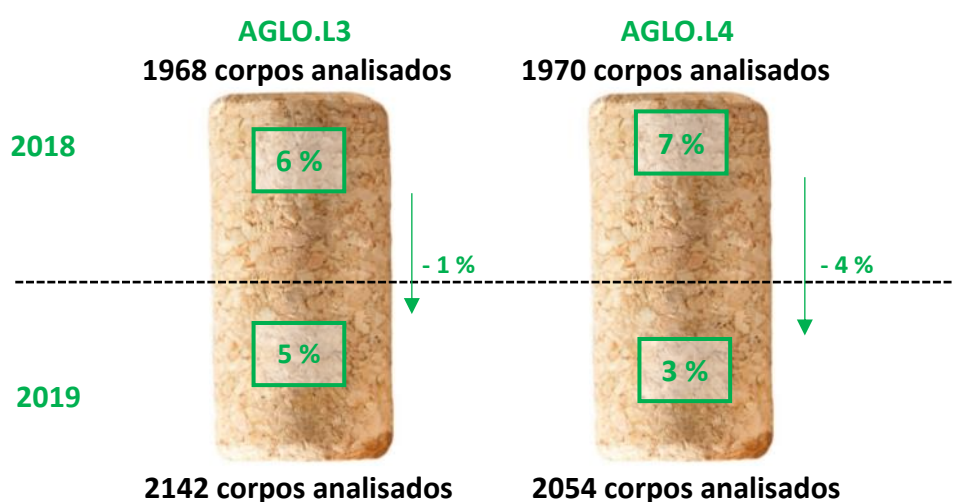


Figura 6.2 – Corpos % Absorção > 36 % Linhas 3 e 4 Extrusão AGLO (2018-2019)

Estas linhas trabalham em simultâneo, produzem o mesmo diâmetro ($\varnothing 33$ mm) consomem o mesmo lote de matérias-primas (granulados e produtos químicos) e o número de corpos analisados no Teste da Bomba Hidrostática é praticamente igual. No entanto os resultados obtidos são melhores na linha 4.

Não existindo uma análise das variáveis que podem influenciar este fenómeno, torna-se difícil justificar o comportamento previamente descrito. Com o objetivo de contrariar a situação, e conhecer melhor o processo, cruzaram-se os dados do Teste da Bomba Hidrostática, referentes às linhas 3 e 4 da Extrusão AGLO, para os anos de 2018 e 2019, com outras características. Para tal foi necessário um trabalho extenso, que envolveu recolher e consolidar os vários dados armazenados, em fontes e formatos diferentes, num único ficheiro Excel, e a sua posterior análise.

Análise Efeitos Principais

A Figura 6.3 corresponde ao gráfico de efeitos principais, e nela encontra-se representada a resposta média do Teste da Bomba Hidrostática em função dos níveis das 10 variáveis categóricas estudadas.

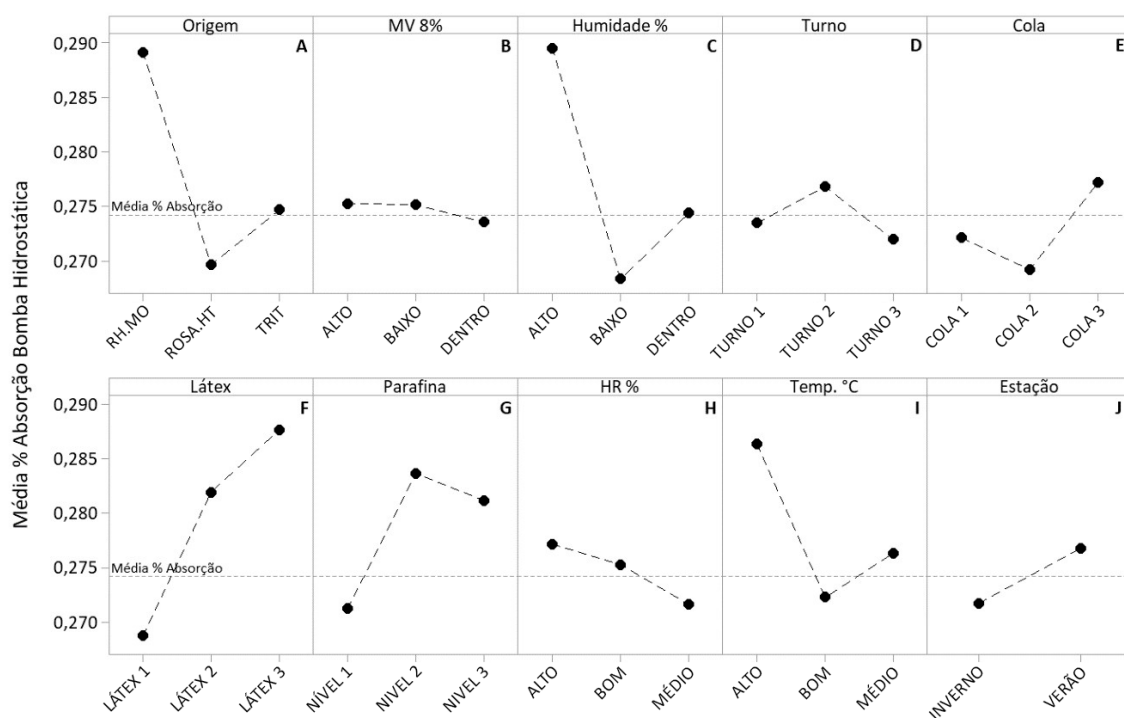


Figura 6.3 - Gráfico de Efeitos Principais na % Absorção Teste da Bomba Hidrostática. Onde: MV 8% corresponde a Massa Volumica 8%; HR% a % Humidade Relativa; RH.MO a Micro-ondas; ROSA.HT a ROSA Hitec e TRIT a Trituração.

Os fatores que aparentam afetar mais a percentagem de absorção dos corpos são:

- % Humidade do Granulado;
- Origem do Granulado;
- Tipo de Látex;
- Temperatura Ambiente;
- Nível de Parafina.

A especificação da humidade do granulado à entrada da extrusão encontra-se entre os 7,5 e os 9,5%. A análise realizada revela que percentagens superiores às estipuladas tendem a aumentar a resposta média do Teste da Bomba Hidrostática (Figura 6.3C). Esta relação era expectável, uma vez que a polimerização da cola depende fortemente da concentração de água presente no sistema, tendo esta um efeito catalítico sobre a mesma. Conclui-se assim que é essencial que a humidade do granulado seja monitorizada antes de se dar início à elaboração da mistura, e que entre ter humidades superiores ou inferiores à entrada, o segundo cenário torna-se preferível, desde que se garanta um forte controlo da quantidade de água adicionada no momento do acerto.

Apesar de as inclinações das linhas entre os níveis do fator “Origem do Granulado” sugerirem que este comporta um efeito principal para a característica analisada (Figura 6.3A), não se pode concluir que o mesmo seja estatisticamente significativo, dado que o tamanho da amostra dos diferentes níveis varia consideravelmente. Dos valores utilizados nesta análise apenas 6% estão relacionados com granulado sujeito a tratamento no micro-ondas, dividindo-se os restantes em 27% para granulado proveniente do ROSA HITEC e 67% para o granulado com origem na trituração.

O látex consiste numa dispersão aquosa. Isto significa que a existência de desvios no momento da sua adição pode contribuir com um excesso de humidade extrínseca para o processo, e consequentemente originar um início precoce da reação de polimerização. No entanto, a presente análise foca-se apenas no tipo de produto utilizado e não nas suas características (Figura 6.3F). Como tal, apenas se pode afirmar que das 3 qualidades de látex aplicadas no processo de extrusão, a que permite obter melhores resultados de absorção é o LÁTEX 1, e a que se reflete em resultados piores é o LÁTEX 3.

O fenómeno de absorção parece estar relacionado com a temperatura ambiente (Figura 6.3I). Temperaturas superiores a 30°C (Nível Alto) demonstraram ter um impacto negativo nas percentagens de absorção, enquanto que temperaturas inferiores a 25°C (Nível Bom) se revelaram as indicadas para uma aglomeração eficiente. Este cenário é sustentado pelas respostas do fator “Estação” (Figura 6.3J), onde o nível “Verão”, que se encontra associado a temperaturas, por norma, mais altas, apresentou os piores resultados. Neste âmbito, pode ainda ser referida a questão do turno (Figura 6.3D), sendo que o turno 2, que opera entre as 8 da manhã e as 4 da tarde, é o turno cujos valores de absorção tendem a ser mais elevados. Tal pode ser justificado, com o facto deste turno trabalhar durante o período de maior intensidade solar. No entanto, a diferença entre os níveis da categoria “Turno” não é tão acentuada, quando comparada com outras categorias, e por tanto pouco relevante.

Segundo o estudo realizado, para se obterem menores percentagens de absorção nos corpos extrudidos, o valor da humidade relativa deve de estar situado entre os 40 e os 50% (Nível Médio) (Figura 6.3H). Valores superiores (Nível Alto), ou inferiores (Nível Baixo) aos mencionados tendem a potenciar um aumento na percentagem de absorção.

Tendo estes últimos 2 pontos em mente, a climatização do espaço de trabalho parece ser um passo importante e determinante para a obtenção de melhores resultados no Teste da Bomba Hidrostática.

A Parafina é utilizada para facilitar a passagem dos bastões formados nos tubos das máquinas extrusoras, e permite controlar a massa volúmica dos corpos produzidos. Pelos dados recolhidos e analisados, maiores quantidades de parafina, presentes na mistura, parecem surtir efeitos negativos na percentagem de absorção (Figura 6.3G). A verdade é que quanto maior for o patamar de parafina utilizado, mais rápida será a passagem do bastão pelo forno, e quanto mais rápida for a passagem do bastão pelo forno, mais incompleta poderá vir a ser a reação de polimerização. No entanto este fator não depende apenas do tempo de residência do bastão no forno, mas também da temperatura a que o mesmo se encontra, e uma vez mais, da quantidade de água presente no sistema. Assim sendo, para se poder retirar conclusões devidamente fundamentadas sobre este parâmetro, seria necessário analisar a interação de todos estes fatores.

À semelhança do que foi mencionado para o látex, também o estudo da cola recaí apenas nos fornecedores utilizados e não nas propriedades do produto (Figura 6.3E). Todavia, é possível afirmar que a COLA 2 proporciona melhores valores de absorção do que a COLA 1, que por sua vez apresenta melhores resultados que a COLA 3. Para mais informações seria necessário estudar outros aspetos dos produtos mencionados, nomeadamente a sua taxa de reticulação.

Apesar de a massa volúmica ser o fator que menor efeito tem na resposta em estudo (Figura 6.3B), é possível concluir que para valores dentro dos limites estabelecidos internamente, isto é, massas volúmicas entre os 68 e os 72 Kg/m³, são preferenciais, e permitem obter melhores resultados de absorção.

6.2. Análise dos Modos de Falha e Efeitos (AMFE)

Após um período de familiarização com o processo, foi realizado um levantamento das possíveis causas do problema de desaglomeração nas linhas de extrusão, segundo a metodologia dos 6M's, o que deu origem ao Diagrama de Ishikawa presente na Figura 6.4.

Como a lista de causas, e respetivas subcausas apuradas era muito extensa, e, portanto, difícil de analisar durante o período de estágio na UI-Equipar, aplicaram-se os princípios da AMFE, e através da determinação dos números de prioridade e risco (NPR's), estabeleceram-se as prioridades de atuação (Tabela 6.1).

Nas reuniões conduzidas entre os membros do Grupo de Melhoria da Extrusão, apontaram-se e analisaram-se quantitativamente as causas apuradas, às quais foram atribuídos os Índices de Severidade (S), Índices de Ocorrência (O) e Índices de Detenção (D), tendo o cálculo do respetivo NPR resultado da multiplicação destes 3 fatores.

Quanto maior o valor do NPR, maior o risco de se verificar o efeito de falha em estudo, e como tal, maior a necessidade de atuação (AIAG, 2008).

Após elaborada a tabela da metodologia escolhida, e uma vez concedidos os respetivos índices, concluiu-se que as causas que mereciam especial atenção eram, em 1º lugar, as

que se encontravam relacionadas com o ramo “Máquinas” (NPR = 2269), e em 2º lugar, as causas do ramo “Método” (NPR = 1566).

Na sequência do estudo efetuado, e dando foco às componentes mencionadas, desenvolveu-se então um plano de ações, centrado na comparação das características, e comportamentos, das Linhas 3 e 4 da extrusão AGLO:

1. Análise das Condições Operatórias;
2. Verificação do Doseamento dos Produtos Químicos;
3. Simulação Reação de Polimerização da Cola;
4. Caracterização Absorção Linhas 3 e 4;
5. Distribuição da Mistura nas Caixas;
6. Estudo da Alimentação das Linhas de Extrusão.

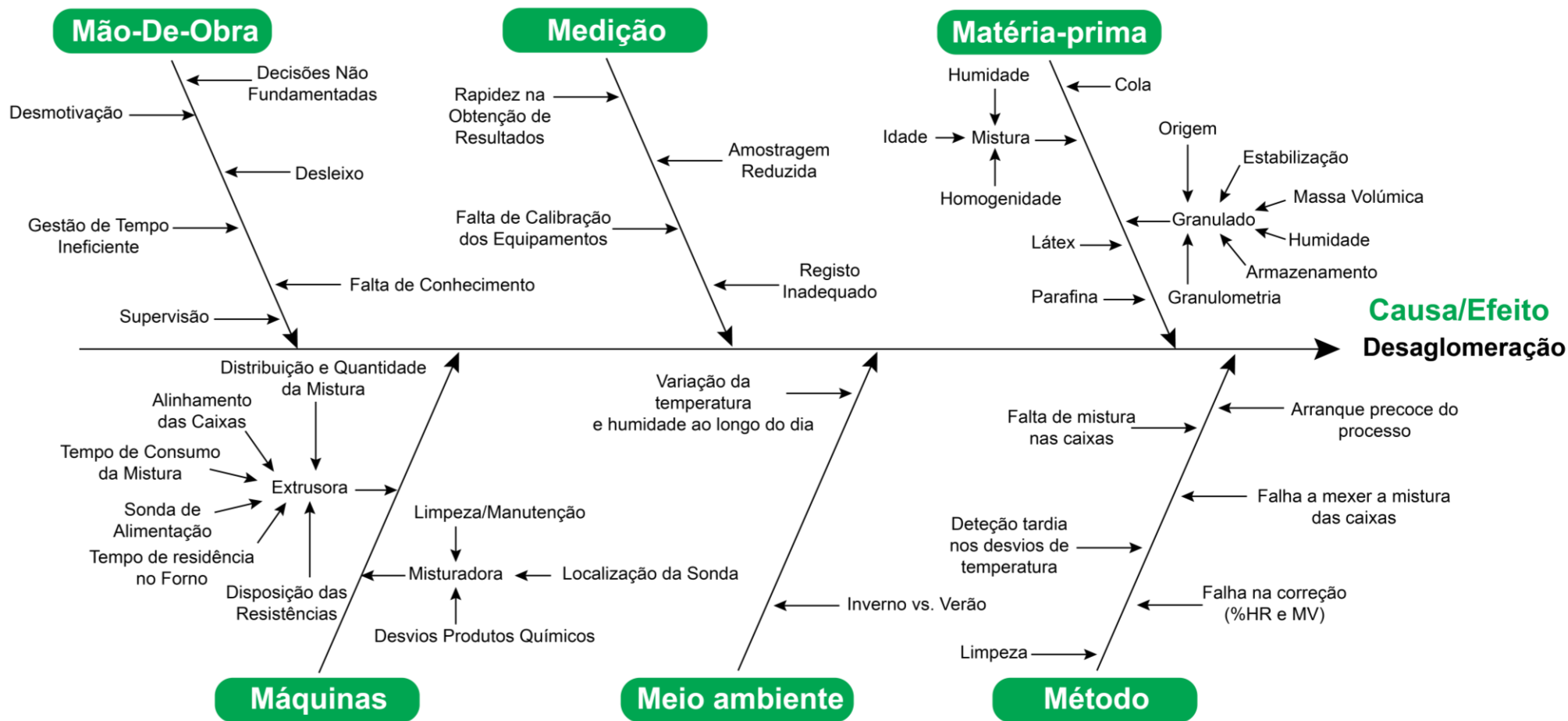


Figura 6.4 – Diagrama de Ishikawa para o Efeito Desaglomeração

Tabela 6.1 - Resumo da Implementação da AMFE para o Efeito Desaglomeração

EQUIPA:	Grupo de Melhoria Extrusão					
MODO DE FALHA:	Problemas na Extrusão					
EFEITO DE FALHA:	Desaglomeração					
RAMO	CAUSA DA FALHA	S	O	D	NPR	NPR
MÁQUINA	Oscilações de temperatura e velocidade	8	7	7	392	2269
	Erros no fornecimento das matérias-primas	8	8	6	384	
	Tempo de residência no forno	7	7	7	343	
	Tempo de consumo da mistura	6	7	7	294	
	Localização do sensor	6	6	6	216	
	Limpeza/Manutenção	6	6	6	216	
	Distribuição das misturas nas caixas	5	7	6	210	
	Atrito nos tubos	5	5	4	100	
	Alinhamento das máquinas	4	4	3	48	
	Rede utilizada	4	4	2	32	
	Taxa de compressão	3	3	2	18	
	Alimentação dos produtos químicos num único ponto	2	2	2	8	
	Funcionamento dos pistões	2	2	1	4	
	Disposição das resistências	2	2	1	4	
MÉTODO	Falta de mistura nas caixas	10	9	6	540	1566
	Deteção tardia de desvios na temperatura	7	7	9	441	
	Falha em mexer a mistura nas caixas	6	6	9	324	
	Falha na correção da humidade e/ou da massa volúmica	5	5	9	225	
	Arranque precoce do processo	3	3	4	36	
MATÉRIA-PRIMA	Humidade	7	7	6	294	1250
	Massa volúmica	6	6	6	216	
	Incorporação de mistura “velha”	5	5	8	200	
	Tempo de estabilização	5	5	6	150	
	Idade da mistura/Tempo de consumo	5	5	5	125	
	Homogeneidade da mistura	4	4	7	112	
	Dimensão dos grânulos	3	3	6	54	
	Quantidade e qualidade dos produtos químicos	3	3	5	45	
	Origem	3	3	3	27	
	Armazenamento	3	3	3	27	
MEIO AMBIENTE	Diferença de temperatura e humidade ao longo do dia e dentro do mesmo turno	8	6	9	432	896
	Estação do Ano	8	6	9	432	
	Temperatura e humidade, requeridas pelo processo, diferentes das verificadas no meio ambiente	2	2	8	32	
MÃO-DE-OBRA	Gestão de tempo ineficiente	3	3	9	81	173
	Falta de conhecimento/qualificação	2	2	8	32	
	Acumulação de tarefas	2	2	8	32	
	Decisões não fundamentadas	2	2	7	28	
MEDIÇÃO	Amostragens reduzidas	3	3	4	36	144
	Periodicidade do controlo	3	3	4	36	
	Registo Inadequado	3	3	4	36	
	Rapidez na obtenção de resultados	3	3	4	36	

6.3. Análise das Condições Operatórias

A. Verificação das Temperaturas das Máquinas Extrusoras

A temperatura influencia a reação de reticulação, e como tal é um fator de extrema importância no sistema em estudo.

Como se pode observar pela Figura 6.5, o processo não se encontra dentro de controlo estatístico, embora as médias das temperaturas estejam dentro dos limites de especificação (115 ± 3 °C). Durante a análise efetuada foram detetados valores muito acima e muito abaixo dos pretendidos. Este comportamento é mais visível na linha 3, e pode ser comprovado por uma maior dispersão nos valores, e pelo desvio padrão.

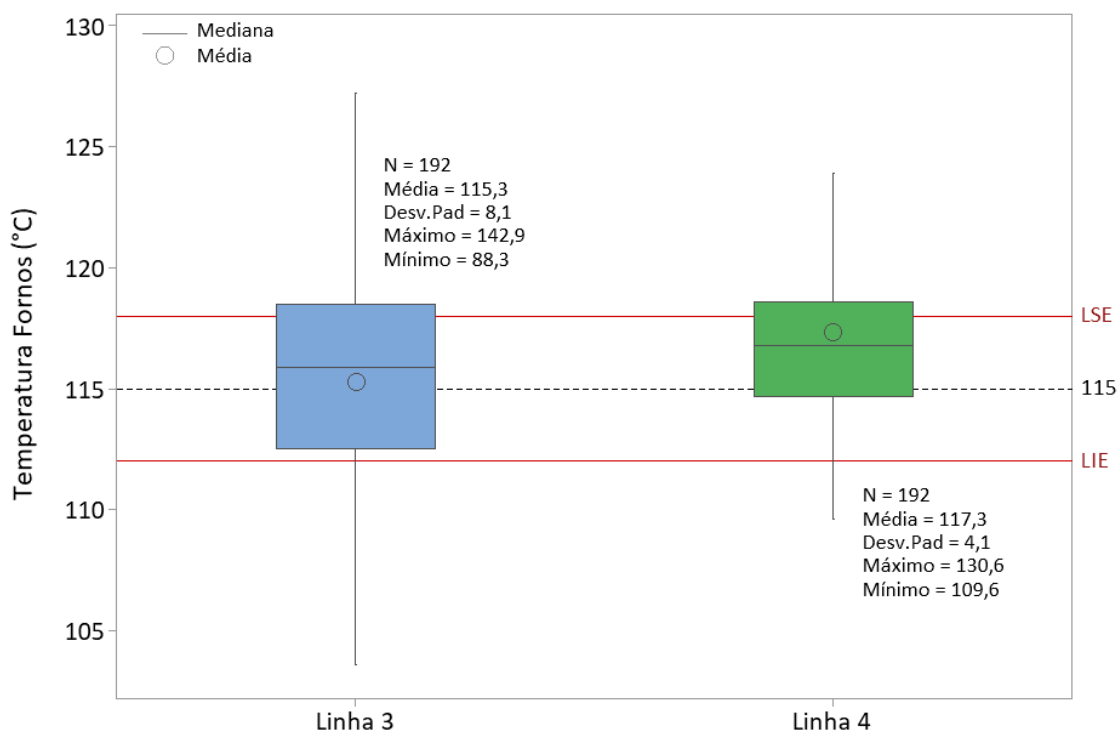


Figura 6.5 - Resumo das Medições de Temperatura das Linhas 3 e 4

Com o objetivo de verificar se as diferenças de temperatura entre as linhas 3 e 4, e as máquinas que as constituem, eram de facto significativas, procedeu-se à realização de uma ANOVA de 2 fatores.

Assim pretende-se testar 3 hipóteses distintas:

1. H_0^1 : as temperaturas médias são iguais nas 2 linhas
 H_1^1 : as temperaturas médias diferem nas 2 linhas
2. H_0^2 : as temperaturas médias são iguais entre máquinas diferentes
 H_1^2 : as temperaturas médias diferem entre máquinas diferentes
3. H_0^3 : não existe interação entre o fator linha e o fator máquina
 H_1^3 : existe interação entre as linhas e as respetivas máquinas

Tabela 6.2 - ANOVA de 2 fatores

Fonte de Variação	SQ	gl	MQ	F ₀	valor P	F crítico
Linha	415	1	415	11,8	7E-04	3,9
Máquina	1498	7	214	6,1	1E-06	2,0
Linha × Máquina	1296	7	185	5,2	1E-05	2,0
Erro	12991	368	35			
Total	16199	383				

Os dados amostrais (Tabela 6.2), revelaram que para um nível de significância de 5%, existe uma associação estatisticamente significativa entre a variável de resposta, os termos em análise, e a respetiva interação.

De facto, a hipótese nula é rejeitada nos 3 cenários, uma vez que para todos eles $F_0 > F_{\text{crítico}}$. Assim sendo, não só as temperaturas registadas diferem significativamente entre as 2 linhas, mas também de máquina para máquina.

Tabela 6.3 - Sumário ANOVA Linha 3

L3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	Total
Contagem	24	24	24	24	24	24	24	24	192
Soma	2841,2	2767,9	2784,1	2782,3	2768,7	2631,9	2831,3	2721,2	22128,6
Média	118,4	115,3	116,0	115,9	115,4	109,7	118,0	113,4	115,3
Variância	1,2	2,4	4,1	0,8	68,0	179,0	142,1	91,7	65,6

Tabela 6.4 - Sumário ANOVA Linha 4

L4	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	Total
Contagem	24	24	24	24	24	24	24	24	192
Soma	2828,6	2825,3	2976,3	2748,1	2762,5	2825,6	2797,3	2764,2	22527,8
Média	117,9	117,7	124,0	114,5	115,1	117,7	116,6	115,2	117,3
Variância	0,9	4,5	35,0	5,5	6,2	7,5	13,8	2,3	17,1

A observação das tabelas complementares (Tabela 6.3 e 6.4), permite concluir que a variação das temperaturas é maior entre as máquinas que constituem a linha 3, e principalmente nas máquinas 6 e 7. Este pode bem ser um dos motivos pelos quais a percentagem de corpos rotulados como “MAUS” no Teste da Bomba Hidrostática é superior nesta mesma linha (Figura 6.2).

Após a verificação das temperaturas, foi feito um levantamento das extrusoras cuja temperatura se encontravam fora de especificação, sendo esta informação comunicada posteriormente à manutenção.

A verdade é que em grande parte destas máquinas, as resistências estavam comprometidas, não funcionando de forma correta. O passo seguinte foi aproveitar o período de férias para substituir todas as resistências que se encontravam nesta condição e voltar a efetuar as medições necessárias para garantir a temperatura ideal do processo de extrusão.

Outro problema identificado foi a periodicidade e a forma com que o controlo da temperatura das máquinas extrusoras era efetuado. Técnicos diferentes tinham procedimentos diferentes, colocando a sonda de forma distinta no forno.

Para combater esta situação, foi sugerida a criação de uma norma interna, que se encontra em fase de aprovação, e presente no Anexo D. Esta norma tem como objetivo estabelecer a frequência e o procedimento do controlo.

Devido ao tempo que é exigido para realizar o controlo mencionado, foi acordado que o mesmo seria realizado apenas de 6 em 6 meses. No entanto, nada impede que as temperaturas sejam verificadas ocasionalmente, caso se desconfie de alguma anomalia no processo.

B. Verificação do Crescimento do Bastão

O crescimento do bastão é igualmente importante para a eficiência da aglomeração dos corpos extrudidos, uma vez que este se relaciona diretamente com o tempo de residência do bastão no forno. Quanto maior for o crescimento do bastão menor será o tempo de residência do mesmo no forno, e vice-versa.

A Figura 6.6 resume os dados recolhidos para cada uma das linhas, onde, apesar das médias determinadas se encontrarem dentro dos limites de especificação ($3,25 \pm 0,25$ cm/min), é possível concluir que o processo não se encontra, uma vez mais, dentro de controlo estatístico.

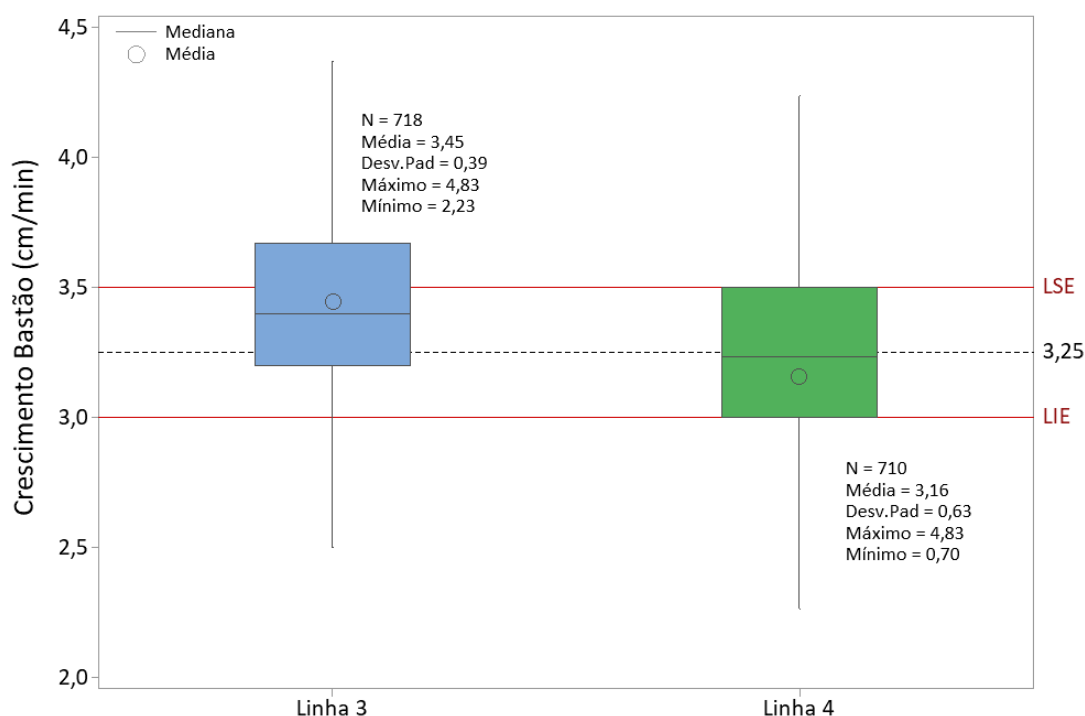


Figura 6.6 - Resumo das Medições do Crescimento de Bastão das Linhas 3 e 4

A dispersão dos valores é maior na linha 4, existindo uma amplitude considerável entre o valor máximo de crescimento apurado (4,8 cm/min) e o valor mínimo de crescimento apurado (0,7 cm/min). No entanto, é a linha 4 que apresenta o centro de distribuição mais próximo do valor ideal.

Crescimentos fora de especificação, e baixos, traduzem-se em taxas de produção menores. Estes crescimentos baixos podem ser justificados com problemas no funcionamento

dos pistões, velocidades de ciclo desajustadas e elevadas, falta de mistura nas caixas, baixos níveis de parafina ou ainda tubos entupidos com formações de anéis de látex.

Por outro lado, crescimentos fora de especificação e altos, apesar de conduzirem a taxas de produção mais elevadas, podem comprometer a qualidade do produto. Na realidade quanto mais elevada for a produção, menor será a massa volúmica do corpo, e maior será a probabilidade de se observar o efeito de bastão aberto, um possível indício de desaglomeração (Júlio, 2016).

Os dados apurados para a linha 4 são mais simétricos. Das observações realizadas, 50% encontram-se dentro dos limites de especificação, 25% encontram-se acima e 25% encontram-se abaixo. Já na linha 3, o grosso das observações tende a estar associado a valores superiores ao limite superior de especificação.

A realização de uma ANOVA de 1 fator, para cada uma das linhas, permitiu tecer considerações sobre a significância das diferenças de crescimento observadas entre os diferentes lados das máquinas das linhas 3 e 4.

Para tal assumiram-se as hipóteses:

$$H_0: \mu_A = \mu_B$$

$$H_1: \mu_A \neq \mu_B$$

Para um nível de significância igual a 5%, o valor p determinado para a linha 3 (Tabela 6.5), demonstra que de facto existem diferenças estatisticamente significativas no crescimento médio entre os 2 lados da linha.

Tabela 6.5 - ANOVA 1 fator Linha 3

Fonte de Variação	SQ	gl	MQ	Valor P	Valor F
Lado	0,946	1	0,9463	0,012	6,39
Erro	106,076	716	0,1482		
Total	107,023	717			

Os resultados da comparação de Tukey permitem testar formalmente se a diferença entre um par de grupos tem significado estatístico. A Figura 6.7, que inclui os intervalos de confiança simultâneos de Tukey, mostra o intervalo de confiança para a diferença entre as médias dos lados A e B da linha 3. Esta variação não inclui o zero, o que reforça que a diferença entre estas médias é de facto estatisticamente significativa, e como tal na tabela de comparações (Tabela 6.6), os grupos não partilham a mesma letra.

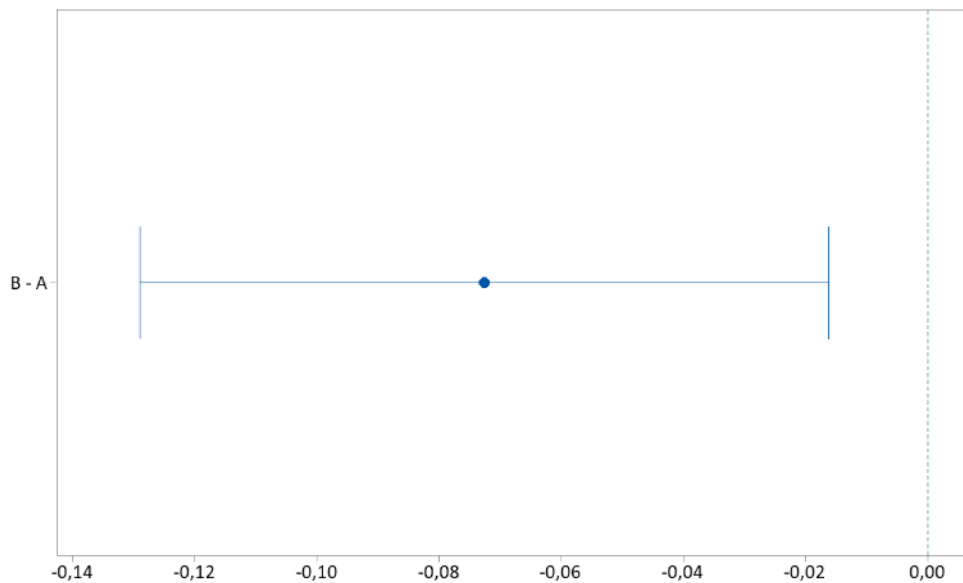


Figura 6.7 – Intervalos de Confiança Simultâneos de 95% de Tukey (Linha 3)

Tabela 6.6 – Informações de Agrupamento Método de Tukey para IC 95% (Linha 3)

Lado	N	Média	Agrupamento
A	359	3,4825	A
B	359	3,4099	B

Já para a linha 4, considerando novamente um nível de significância igual a 5%, apurou-se um valor- $p = 0,339 > 0,05$ (Tabela 6.7). Neste caso conclui-se que não existem diferenças de importância estatística no crescimento médio do bastão entre os lados A e B da linha.

Tabela 6.7 - ANOVA 1 fator Linha 4

Fonte de Variação	SQ	gl	MQ	Valor P	Valor F
Lado	0,366	1	0,3656	0,339	0,91
Erro	283,081	708	0,3998		
Total	283,447	709			

Esta constatação é sustentada pela observação da Figura 6.8, onde a representação dos intervalos de confiança para a diferença entre as médias dos lados A e B, inclui o valor zero, o que indica que as diferenças não são significativas, e como tal as médias compartilham a mesma letra na Tabela 6.8.

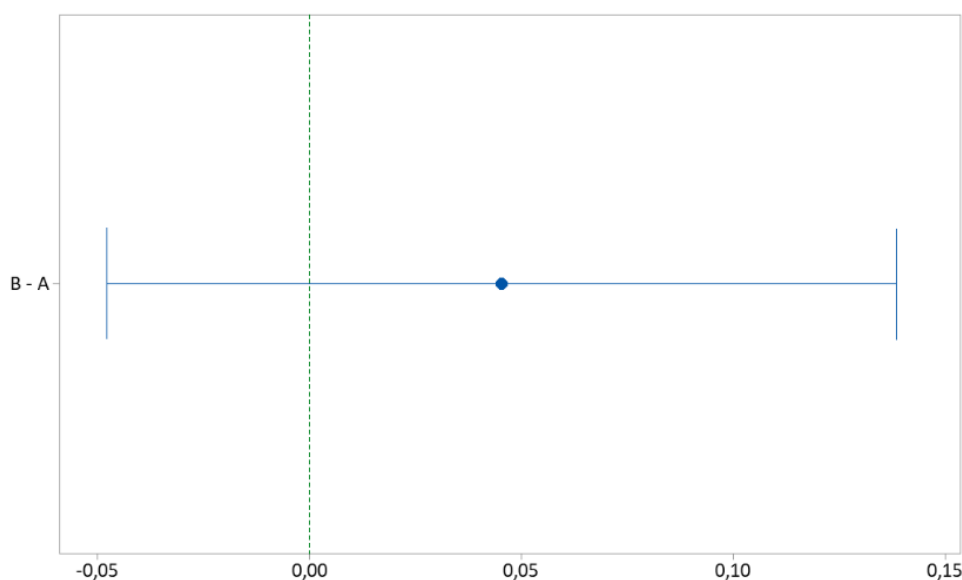


Figura 6.8 - Intervalos de Confiança Simultâneos de 95% de Tukey (Linha 4)

Tabela 6.8 - Informações de Agrupamento Método de Tukey para IC 95% (Linha 4)

Lado	N	Média	Agrupamento
A	355	3,1802	A
B	355	3,1348	A

Para combater as discrepâncias no crescimento dos bastões, foi sugerida a aplicação de um controlador que permitisse efetuar uma mediação exata do tempo que o bastão permanece no interior do forno, emitindo um sinal sempre que a mesma se desviasse do valor pretendido.

6.4. Verificação do Doseamento dos Produtos Químicos

A Figura 6.9 resume os resultados obtidos e a Tabela 6.9 indica, para cada um dos produtos investigados, a percentagem de erro permitida.

Tabela 6.9 - % Erro permitida para cada um dos produtos químicos

Produto	Erro
Cola	$\pm 6 \%$
Látex	$\pm 3 \%$
Parafina	$\pm 6 \%$

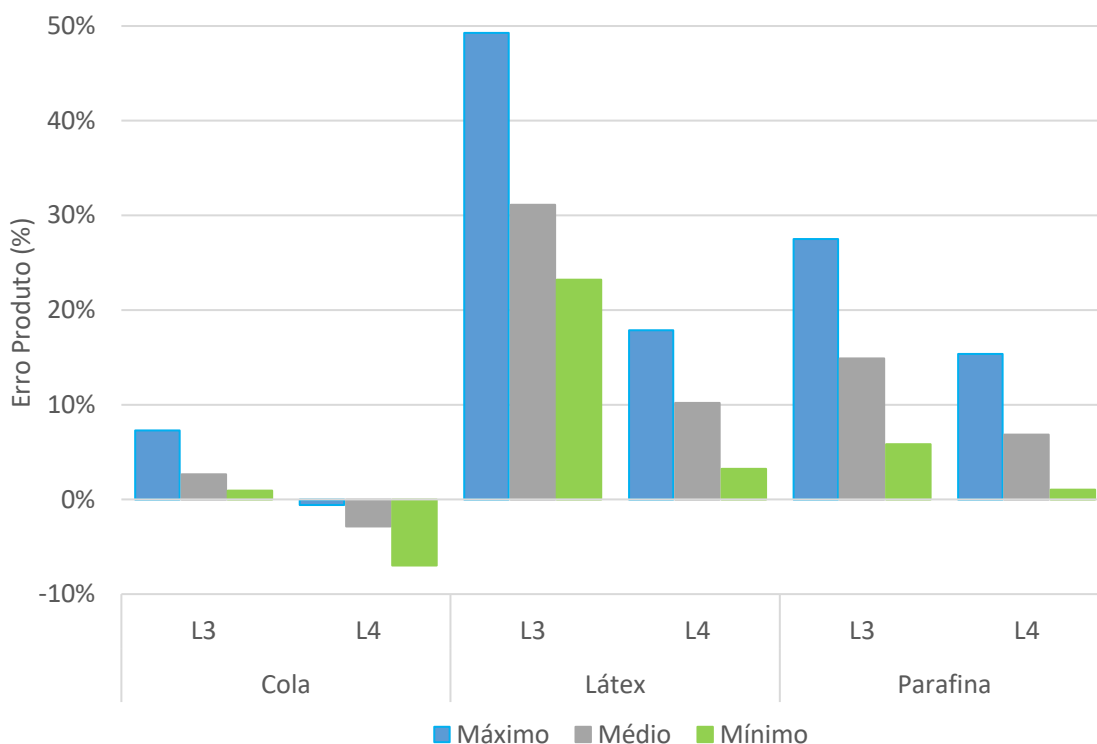


Figura 6.9 - Verificação do Doseamento dos Produtos Químicos (N=46 para L3 e N=71 para L4)

Analisando os dados recolhidos, é possível afirmar, que para ambas as linhas, a adição de cola apresenta a menor percentagem de erro associada. De facto, tanto o erro máximo verificado (7% na linha 3) , como o erro mínimo verificado (-7% na linha 4), encontram-se dentro da tolerância admitida, ou muito perto da mesma, pelo que, à partida, não constituem um motivo de preocupação. Constatase ainda que a linha 3 tende a colocar quantias superiores de cola, e a linha 4 quantias inferiores, face ao valor estipulado.

A utilização da parafina auxilia na passagem dos bastões de cortiça formados pelos tubos das máquinas extrusoras, e permite ajustar a massa volúmica dos corpos produzidos. Desvios negativos nas percentagens adicionadas deste composto podem dificultar o crescimento do bastão, que ao passar mais tempo no interior do forno pode originar corpos com maior massa volúmica do que a pretendida.

Por outro lado, se forem adicionadas quantidades de parafina superiores às estipuladas, o tempo de residência do bastão no forno pode vir a ser insuficiente para a reação de polimerização ser eficaz.

O erro máximo determinado foi de 28% para a linha 3 e 15% para a linha 4. Nos 2 casos os valores são alarmantes e bem superiores aos limites permitidos. O erro médio superior na linha 3 pode justificar a tendência verificada na Figura 6.6, de um crescimento de bastão tendencialmente superior ao definido na especificação.

Dos 3 produtos químicos, o látex é o que apresenta a menor tolerância no que diz respeito à percentagem de erro admitida. Esta restrição pode encontrar justificação no facto do látex ser uma dispersão aquosa, e como tal conter percentagens de água na sua composição, como aliás já foi mencionado.

Enquanto que desvios negativos neste parâmetro comprometem a dispersão dos componentes na mistura, o que influencia a elasticidade do bastão e consequentemente o seu crescimento contínuo, isto é, o crescer sem quebrar, desvios positivos podem induzir um excesso de humidade na mistura e conduzir a um início antecipado da reticulação da cola.

Sendo importante a mesma ocorrer no interior dos tubos da extrusora, este cenário torna-se particularmente preocupante.

O máximo teor de sólidos suscetível de estar presente na composição do látex utilizado na Equipar, segundo as fichas técnicas e de segurança dos produtos, é aproximadamente igual a 60%. Quer isto dizer que, se assumirmos que tudo o que não for teor em sólidos é água, ficamos com um teor mínimo de água de aproximadamente 40%.

Uma mistura de granulado RCT produzida nas linhas 3 e 4 da extrusão AGLO leva 1,12 Kg de látex. Contas feitas, a quantidade de látex inserida na mistura, sem contabilizar os desvios, adiciona cerca de 0,45L de água no sistema.

Sabendo que nos acertos de humidade das misturas é acrescentado 1L de água por cada ponto percentual de humidade que se pretende incrementar, é fácil concluir que a presença do látex por si só contribui para 0,5% de humidade extra, e que quanto maior for o desvio maior será a percentagem de água introduzida.

Posto isto, revela-se interessante, e importante, considerar a humidade previamente adicionada pelo látex antes de se proceder ao ajuste da mesma nas misturas através da junção direta de água.

Um estudo mais pormenorizado poderia ajudar a estabelecer uma relação entre os 2 elementos, e melhorar a polimerização da cola, o que se refletiria em menores percentagens de absorção por parte dos corpos extrudidos.

Os desvios nos produtos químicos são extremamente importantes, quer sejam positivos ou negativos, e devem de ser evitados a todo o custo.

As porções dos químicos a serem adicionadas durante a elaboração da mistura foram estudadas minuciosamente e são essenciais para garantir uma aglomeração eficiente dos grânulos de cortiça, assim como as propriedades do produto final.

Da interpretação dos resultados conclui-se que a alteração do sistema de pesagem na linha 4 surtiu efeitos positivos, dado que os desvios apurados foram menores que os da linha 3, e que a aplicação desse mesmo sistema nas restantes linhas seria vantajosa e, portanto, deveria de ser considerada. Esta poderá ser uma das razões pelas quais a melhoria nos valores de absorção foi mais visível na linha 4 da extrusão AGLO (Figura 6.2).

Apesar de já existir uma norma interna para a verificação do doseamento dos produtos químicos, que requer que cada turno execute pelo menos uma averiguação dos desvios em cada uma das linhas, devido à acumulação de tarefas por parte do operador

responsável, este controlo nem sempre é efetuado devidamente. Com isto em mente, procedeu-se à reestruturação da norma, optando por reduzir o número de controlos por turno e garantir que os que estavam estipulados eram cumpridos (ver Anexo D). O controlo exigido passou a ser uma linha por turno, sendo o mesmo rotativo. Esta opção pareceu ser a mais viável, uma vez que deste modo o controlo diário de todas as linhas é assegurado.

6.5. Simulação da Reação de Reticulação da Cola

A. Influencia do Tempo de Residência e da Temperatura dos Fornos

As conclusões deste ensaio resultam única e exclusivamente da análise visual das reações simuladas, e têm em conta que para um pré-polímero de poliuretano reagir completamente tem de existir a formação de espuma, com a respetiva libertação de CO₂ (bolhas).

Dos resultados presentes na Figura 6.10 concluiu-se que o grau de polimerização possui uma relação direta com o tempo de residência no forno. Quanto mais tempo a mistura permaneceu na estufa, mais o pré-polímero de TDI reagiu.

A temperatura incentiva a reação, e esse facto é bem visível nos ensaios efetuados, uma vez que temperaturas mais elevadas demonstraram estimular a reticulação da cola. De entre todos os cenários estudados, a combinação dos 115 °C com os 15 minutos, foi a que evidenciou a presença de uma reação mais completa, o que aliás se pode comprovar pela maior expansão da espuma formada. Além disso foi possível concluir que para uma temperatura de 115 °C é preferível o bastão permanecer 10 minutos adicionais no forno do que permanecer apenas 5 minutos.

A temperatura do forno e o tempo de residência no mesmo encontram-se de facto intimamente relacionados. Na presença de temperaturas mais baixas, períodos de residência no forno alargados são necessários para assegurar a aglomeração correta dos grânulos de cortiça. Por outro lado, para temperaturas elevadas, tempos de permanência no forno menores são suficientes para obter uma boa polimerização.

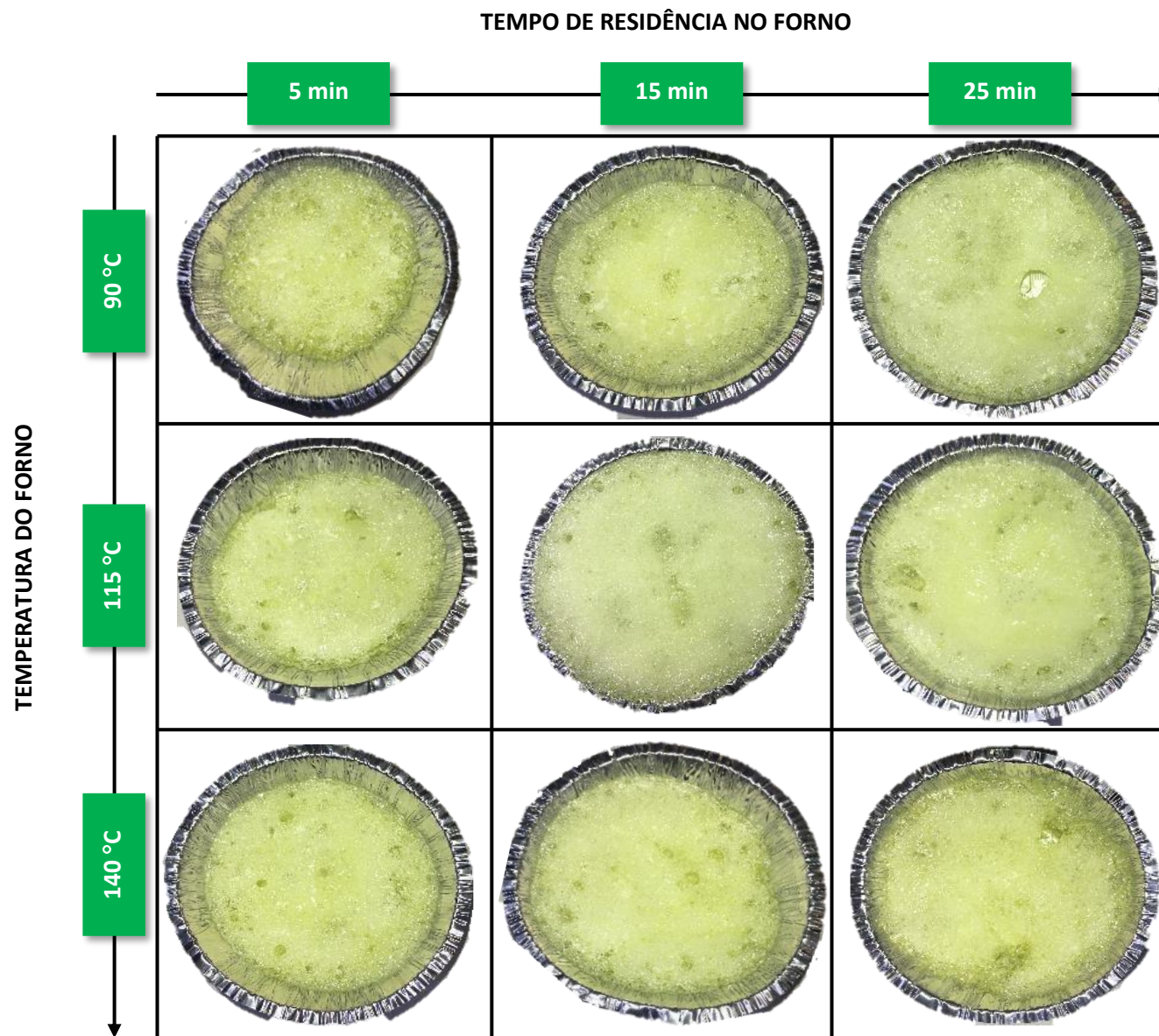


Figura 6.10 - Resultados da Influência do Tempo de Residência e da Temperatura do Forno na Reação de Polimerização da Cola

B. Influencia da % de Água presente no Látex na Reação de Polimerização

A observação da Figura 6.11 permite constatar que, no cenário em que foi adicionado mais 49% de látex do que aquilo que era suposto, a expansão da espuma foi maior, ou seja, a reação de polimerização foi mais completa. Este comportamento veio confirmar as suspeitas de que a adição de quantidades de látex superiores às pretendidas tendem a aumentar o grau de polimerização da cola. No entanto não é qualquer desvio que surte este efeito, uma vez que para um aumento de 18%, o comportamento da reação pouco diferiu do desvio de 0%. A verdade é que adicionar a porção de látex ideal à mistura, ou 18% mais, contribui praticamente com a mesma percentagem de água no processo, e como tal a diferença na reticulação da cola é pouco notória. O mesmo acontece para o desvio negativo.

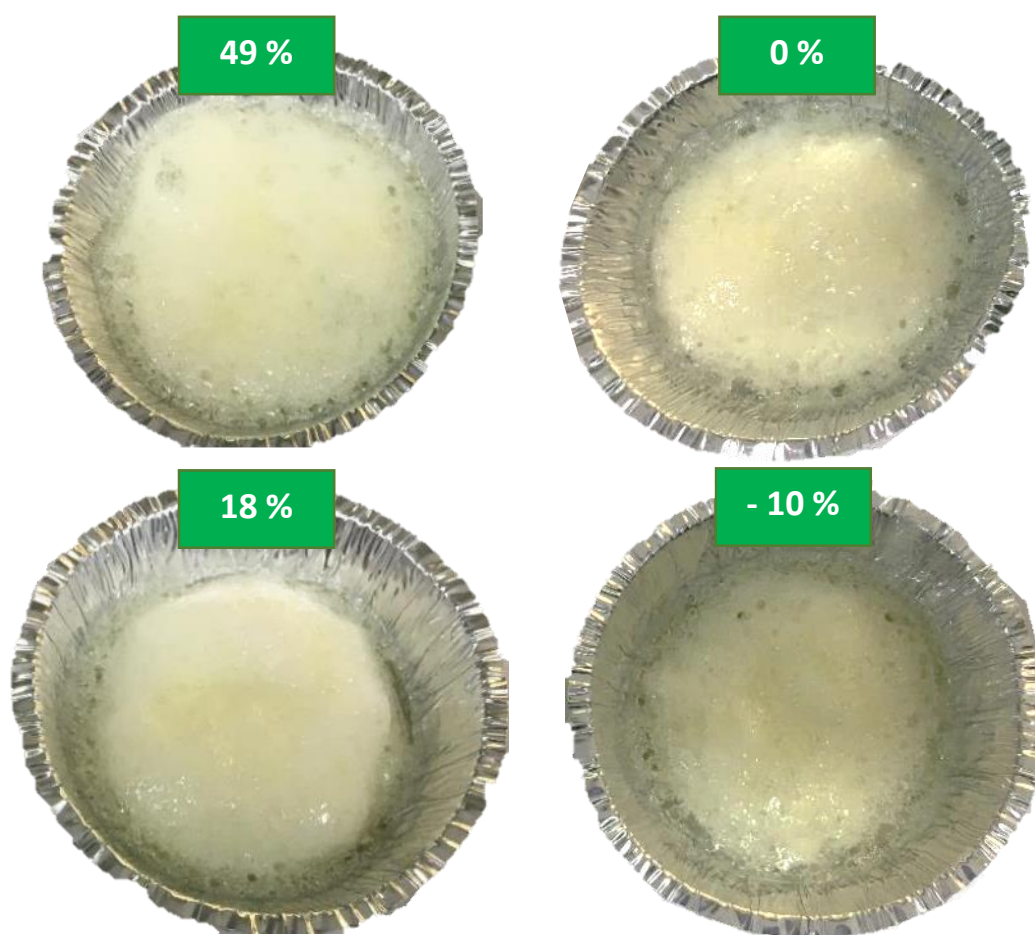


Figura 6.11 - Resultados Influência do Látex na Reação de Polimerização da Cola

A partir destes resultados é possível então concluir que havendo quantidades de látex muito acima das esperadas, a aglomeração dos corpos fica comprometida. O aumento da percentagem de água na composição da mistura reduz o tempo de reticulação, criando o risco de a mesma acontecer antes da mistura ser forçada a entrar nos tubos das máquinas extrusoras.

Esta pode bem ser uma das razões pelas quais os valores do Teste da Bomba Hidrostática melhoraram de forma mais acentuada na linha 4 do que na linha 3 (Figura 6.2).

Assim, o controlo dos desvios de látex nas linhas de extrusão torna-se essencial, e o acerto da humidade na mistura contabilizando a percentagem de água incluída no látex particularmente relevante.

6.6. Caracterização Absorção Linhas 3 e 4

Para se caracterizar a desagregação nas linhas 3 e 4, procedeu-se à recolha de corpos de ambos os lados de cada uma das máquinas. Os corpos foram submetidos ao Teste da Bomba Hidrostática e os resultados obtidos encontram-se nas Figuras 6.12 e 6.13. No total analisaram-se 80 corpos por linha, 10 por cada máquina.

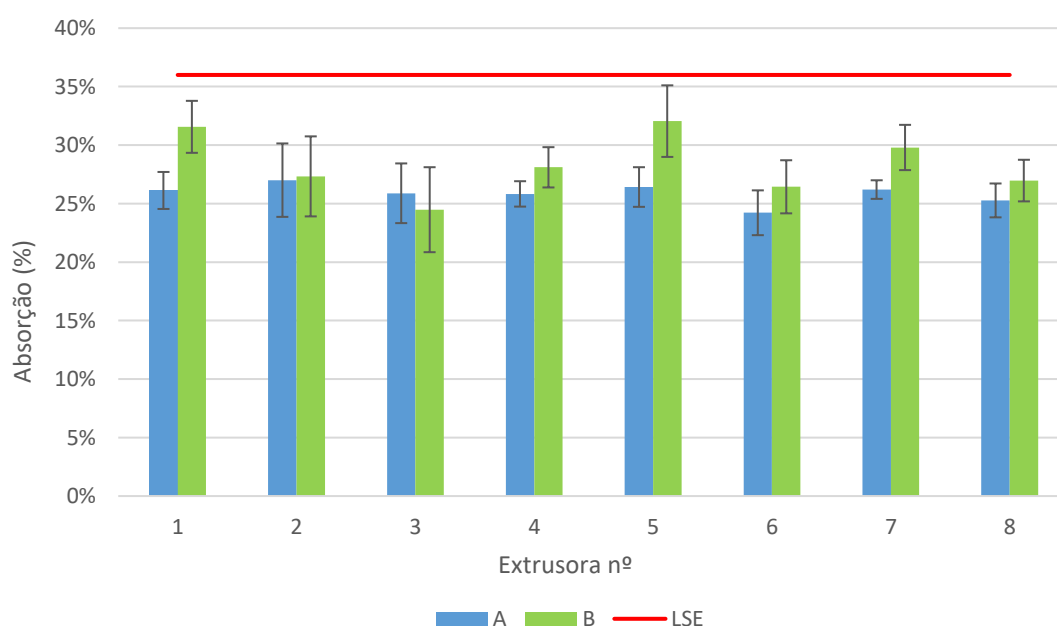


Figura 6.12 - Caracterização Linha 3 (N=80)

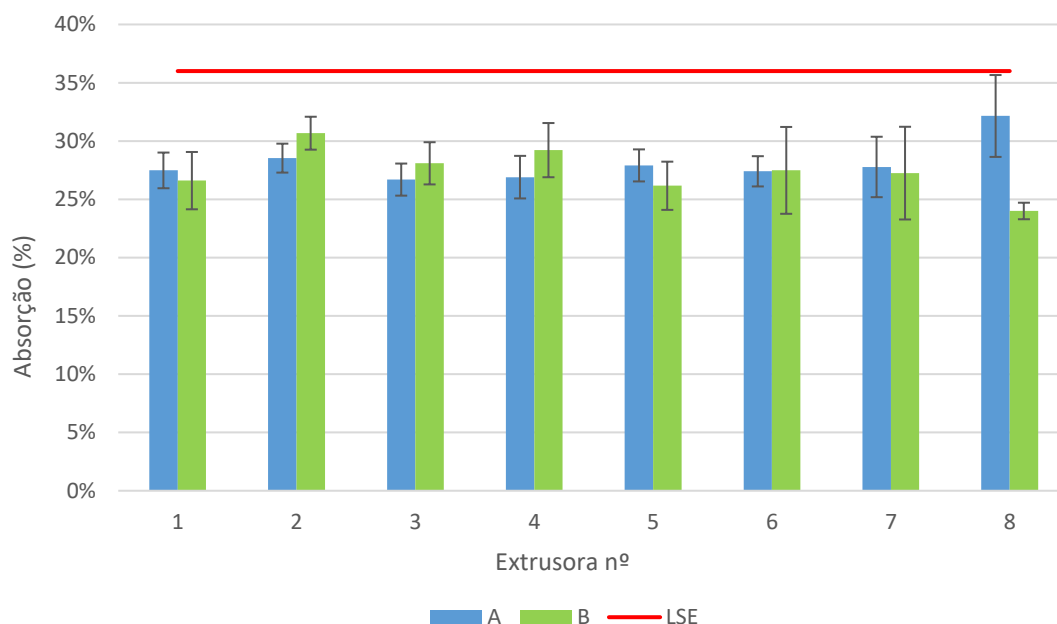


Figura 6.13 - Caracterização Linha 4 (N=80)

Da observação direta das figuras, conclui-se que para as 2 linhas, independente do lado e da máquina, os valores de absorção médios apurados encontram-se abaixo dos 36%, e como tal, dentro da especificação pretendida.

No entanto, em ambas as linhas estudadas, o desvio padrão aparenta ser superior para o lado B, excetuando a máquina 8 da linha 4.

Este cenário leva a querer que existe uma diferença na forma como os 2 lados de uma mesma máquina operam. Enquanto que na linha 3 os valores de absorção mais elevados se encontram maioritariamente associados ao lado B, na linha 4 esse comportamento não é observado.

Com o intuito de avaliar se as diferenças entre as variâncias e as médias de absorções determinadas para os dois lados de uma mesma linha eram, ou não, estatisticamente significativas, realizaram-se 2 testes: o Teste F e o Teste t.

Para comparar os 2 lados relativamente à variância realizou-se um teste unilateral à direita, o Teste F, e definiram-se as hipóteses:

$$H_0: \sigma_A^2 = \sigma_B^2$$

$$H_1: \sigma_A^2 > \sigma_B^2$$

As Tabelas 6.10 e 6.11, juntamente com as Figuras 6.14 e 6.15, resumem os resultados dos testes.

Tabela 6.10 - Teste F para a Linha 3

	Lado A	Lado B
Média	0,278153	0,263956
Variância	0,001195	0,000547
Observações	40	40
gl	39	39
F_0	2,186185	
F crítico	1,704465	

Para um nível de significância de 5%, $F_0 = 2,186 > F_{\text{crítico}} = 1,704$. Assim sendo, a hipótese nula é rejeitada, concluindo-se que as variâncias das absorções do Lado A e B, para a linha 3, são estatisticamente diferentes.

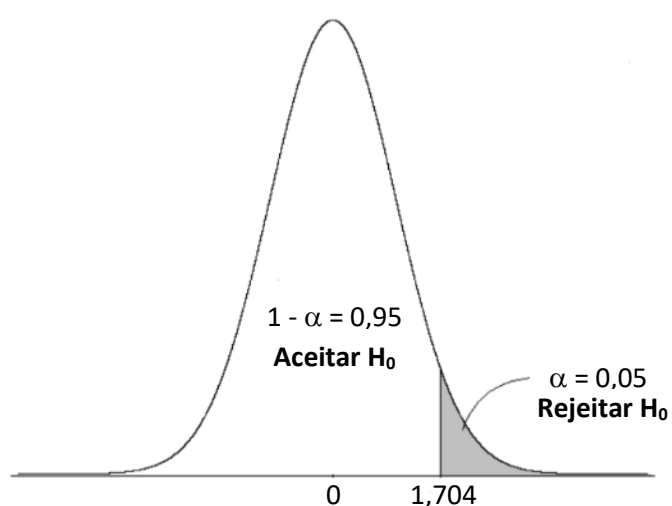


Figura 6.14 - Teste F para a Linha 3 [Adaptado de: (Kanji, 2006)]

Tabela 6.11 - Teste F para a Linha 4

	Lado A	Lado B
Média	0,272444	0,282948
Variância	0,000477	0,000972
Observações	40	40
gl	39	39
F_0	0,490688	
F crítico	0,586694	

Já para a linha 4, e uma vez mais para um nível de significância de 5%, temos que $F_0 = 0,491 < F_{\text{crítico}} = 0,587$. Neste caso, a hipótese nula é aceite, e, portanto, é possível afirmar que não existem diferenças significativas entre as absorções dos 2 lados desta linha.

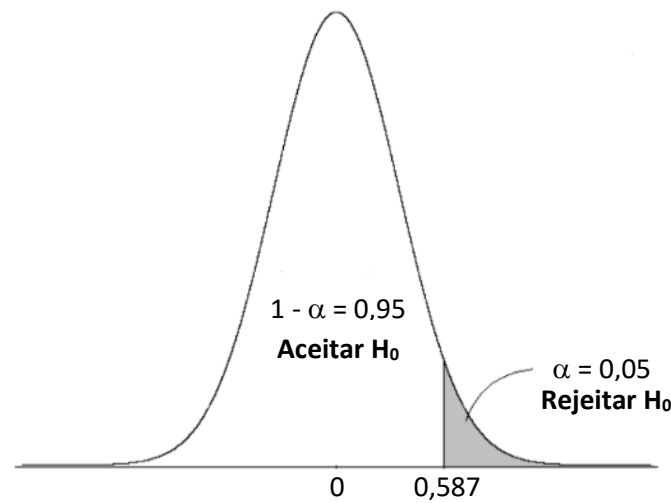


Figura 6.15 - Teste F para a Linha 4 [Adaptado de: (Kanji, 2006)]

Para comparar as médias dos 2 lados utilizou-se um teste bilateral, o Teste t, e defini-ram-se as hipóteses:

$$H_0: \mu_A = \mu_B$$

$$H_1: \mu_A \neq \mu_B$$

As Tabelas 6.12 e 6.13, juntamente com as Figuras 6.16 e 6.17, resumem os resultados do teste.

Tabela 6.12 - Teste t para a Linha 3: Duas Amostras com Variâncias Desiguais

	Lado A	Lado B
Média	0,278153	0,263956
Variância	0,001195	0,000546
Observações	40	40
Hipótese de diferença de média	0	
gl	69	
t_0	2,151797	
t crítico	1,994945	

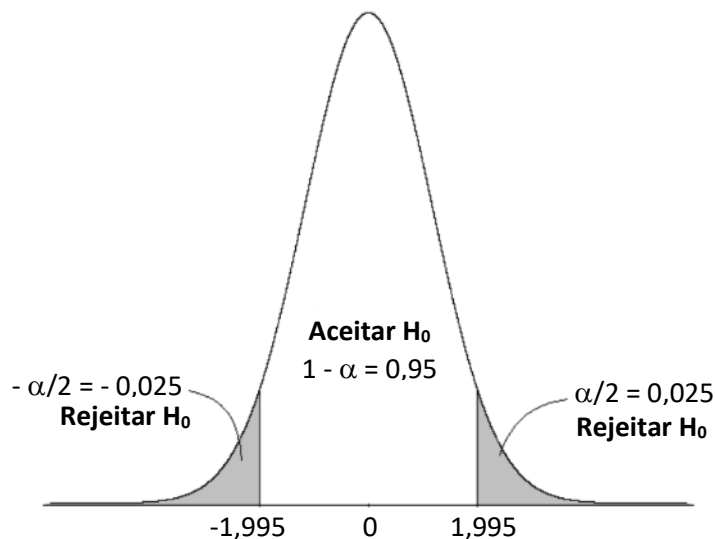


Figura 6.16 - Teste t para a Linha 3: Duas Amostras com Variâncias Desiguais [Adaptado de: (Kanji, 2006)]

Para a linha 3, e para um nível de significância de 5%, a hipótese nula é rejeitada, dado que t_0 se localiza na região crítica. Deste modo, conclui-se que as médias das absorções recolhidas tanto para o Lado A como para o Lado B, diferem estatisticamente.

Tabela 6.13 - Teste t para a Linha 4: Duas Amostras com Variâncias Iguais

	Lado A	Lado B
Média	0,272444	0,282948
Variância	0,000477	0,000972
Observações	40	40
Hipótese de diferença de média	0	
gl	78	
Stat t	-1,745611	
t crítico bi-caudal	1,990847	

Utilizando uma vez mais um nível de significância igual a 5%, verifica-se que o t_0 determinado para a linha 4 não se encontra dentro da zona delimitada como crítica. Como tal, e contrariamente ao que foi determinado para a linha 3, a diferença das médias das absorções entre os 2 lados da linha 4 não é estatisticamente significativa.

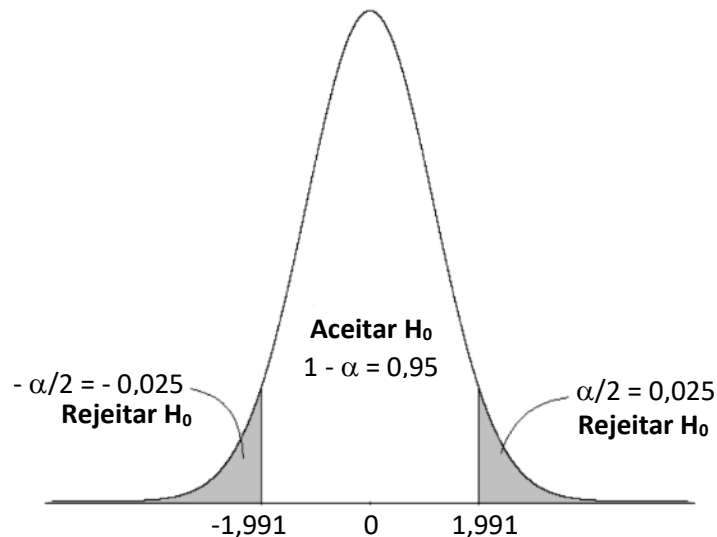


Figura 6.17 - Teste t para a Linha 4: Duas Amostras com Variâncias Iguais [Adaptado de: (Kanji, 2006)]

Resumindo: apesar de os valores de absorção recolhidos, tanto para linha 3 como para a linha 4, aparentarem diferir entre os 2 lados estudados, apenas na linha 3 as diferenças revelaram ser estatisticamente significativas.

Acreditando que a temperatura desempenha um papel importante na polimerização dos corpos, e pelo facto dos maiores desvios terem sido apurados para a linha 3 (Figura 6.5), seria de esperar que este cenário estivesse associado a essa mesma linha.

Absorção dos Corpos em Função da Temperatura dos Fornos

Com o objetivo de cruzar os fatores absorção e temperatura dos fornos, efetuaram-se medições das temperaturas dos respetivos fornos das máquinas, no momento da recolha dos corpos utilizados nesta análise.

Como é possível observar pela Figura 6.18, existe uma correlação forte e positiva entre a temperatura dos fornos e a percentagem de absorção dos corpos extrudidos, o que se reflete nos coeficientes de Pearson apurados: 0,98 para a linha 3 e 0,95 para a linha 4.

Quer isto dizer que, quanto mais elevada for a temperatura presente nos fornos da máquina, maior será a percentagem de absorção dos corpos, e vice-versa.

Este comportamento vai de acordo ao previsto e vem sustentar as conclusões retiradas sobre a polimerização da cola no ponto 6.5: temperaturas mais altas comprometem a reação de polimerização e consequentemente a aglomeração dos corpos, o que se reflete em valores de absorção superiores.

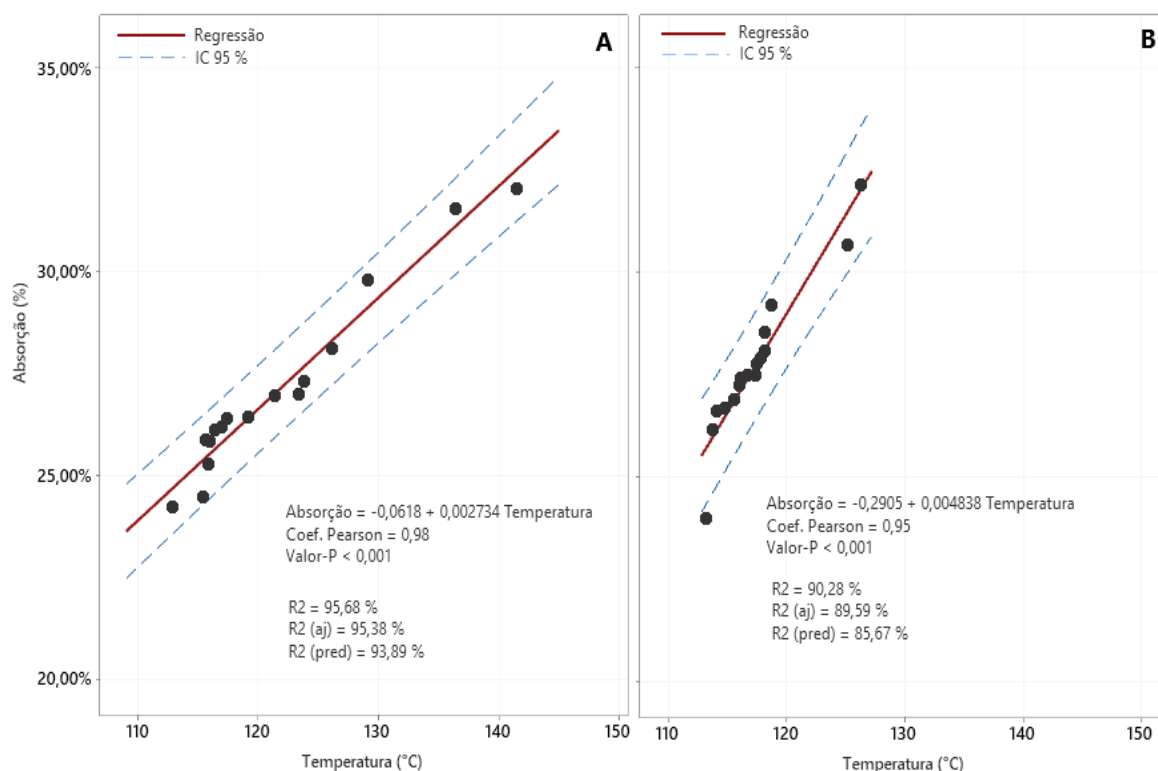


Figura 6.18 - Correlações entre a Temperatura dos Fornos e a Absorção dos Corpos para a Linha 3 (A) e Linha 4 (B)

Correlações entre as Respostas dos Corpos

Foram também alvo de estudo, as possíveis correlações existentes entre as respostas dos corpos, para cada uma das linhas de extrusão.

Da observação da Tabela 6.14, concluiu-se a existência de uma correlação positiva entre as massas e as dimensões dos corpos extrudidos (comprimento e diâmetro).

Esta correlação é mais forte para a componente comprimento, tendo-se revelado a mesma estatisticamente significativa para ambas as linhas (valor-p = 0,000 < 0,005).

Como seria de esperar, a relação entre a massa e a massa volúmica dos corpos, demonstrou ser forte e positiva, associada a fatores de correlação de Pearson perto dos 0,9.

Além disso a correlação descrita apresentou ter significância estatística para um intervalo de confiança de 95%

Assim, quanto mais massivo for o corpo, maior serão as suas dimensões, e maior será a sua massa volúmica.

Tendo em conta a definição de absorção, seria de esperar que quanto maior fosse a massa do corpo, menor seria a quantidade de líquido que migraria para o seu interior, ou seja, menor seria a absorção por parte do mesmo.

O pensamento comum sobre a aglomeração, leva-nos a assumir automaticamente isso mesmo: quanto mais denso for um corpo, menor será a percentagem de poros, logo mais aglomerado estará, e, por conseguinte, menos água absorverá.

No entanto, a análise realizada não permitiu retirar uma conclusão linear sobre o assunto. Uma vez que cada uma das linhas exibiu um comportamento distinto relativamente à relação massa volúmica-absorção. Apesar da mesma se ter assumido estatisticamente relevante nos 2 cenários (valor-p < 0,000 para a linha 3 e <0,001 para a linha 4).

Na linha 3, a relação determinada foi de encontro do expectável: uma relação negativa e moderadamente forte ($r = -0,608$), que se traduziu em menores valores de absorção nos corpos mais densos e em maiores valores de absorção nos corpos menos densos.

Já na linha 4, o coeficiente de Pearson obtido foi positivo e menor (em módulo). Deste modo, apesar de a relação determinada não ser tão forte como a observada no cenário anterior, pode-se esperar que os corpos extrudidos na linha 4 apresentem valores de absorção tão elevados quanto a sua massa volúmica, e vice-versa.

Um pressuposto que pode ajudar a entender este comportamento pouco uniforme na caracterização da absorção em função da massa volúmica é o facto de um menor grau de polimerização não conduzir obrigatoriamente a corpos com menores densidades. Até porque a menor densidade pode, muita das vezes, estar associada a uma maior expansão do corpo que é um dos indicativos de uma maior extensão da reação de polimerização.

Durante o processo de extrusão, é a ação contínua dos pistões a responsável por aplicar uma taxa de compressão no bastão produzido. A temperatura e o tempo de residência nos fornos das máquinas extrusoras influenciam diretamente a reticulação da cola.

Devido à diferença de temperatura sentida, o bastão expande ao sair do forno. Se a pressão exercida for aplicada nas condições de temperatura ideais e durante o tempo indicado, a reação é mais completa, e como tal, o bastão expande sem formar poros.

Por outro lado, se a cola não polimerizar corretamente, o bastão pode expandir com a consequente formação de poros.

Tabela 6.14 - Teste de Correlação entre Respostas dos Corpos para as Linhas 3 e 4 (N=80 por grupo)

		Comprimento (mm)	Massa (g)	Absorção (%)	Diâmetro (mm)
Massa (g)	Coeficiente Pearson (r)	0,460			
		0,436			
	Valor-P	0,000			
		0,000			
Absorção (%)	Coeficiente Pearson (r)	-0,079	-0,575		
		0,206	0,436		
	Valor-P	0,486	0,000		
		0,067	0,000		
Diâmetro (mm)	Coeficiente Pearson (r)	-0,036	0,102	-0,085	
		0,055	0,228	0,120	
	Valor-P	0,754	0,369	0,451	
		0,628	0,042	0,288	
MV (kg/m ³)	Coeficiente Pearson (r)	0,047	0,905	-0,608	0,041
		-0,007	0,893	0,370	0,138
	Valor-P	0,680	0,000	0,000	0,719
		0,948	0,000	0,001	0,224

■ Linha 3 ■ Linha 4

6.7. Problemas Identificados nas Linhas de Extrusão

A. Distribuição da Mistura na Caixas

A Figura 6.19, juntamente com os dados da Tabela 6.15, ilustram a realidade da distribuição da mistura no interior das caixas das linhas em estudo.

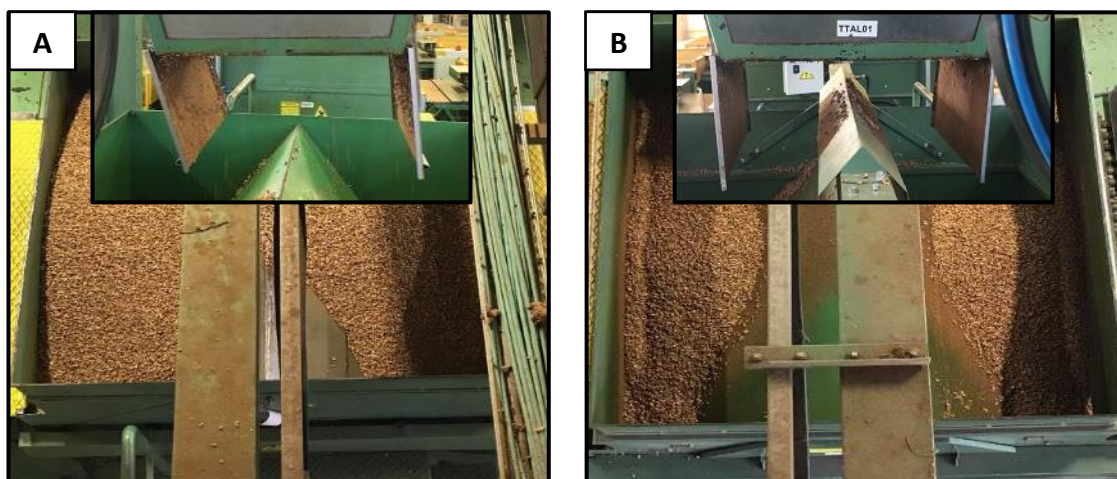


Figura 6.19 - Caixa Extrusora e Respetivo Carrinho de Alimentação para a Linha 3 (A) e para a Linha 4 (B)

Tabela 6.15 - Resumo Distribuição da Mistura Linhas 3 e 4

	Média Carrinho (Kg)	Média Lado A (%)	Média Lado B (%)
Linha 3	22	54%	46%
Linha 4	14	50%	50%

Enquanto que na linha 4 a mistura é repartida de forma semelhante pelos 2 lados da caixa, na linha 3 a mistura tende a ser depositada maioritariamente no lado A.

Esta distribuição pouco homogénea torna-se particularmente problemática quando a acumulação da mistura ocorre no lado onde se localiza o sensor de alimentação, uma vez que ao estar constantemente em contacto com a matéria-prima, o pedido de abastecimento não chega a ser efetuado por parte da sonda.

Em última instância, este cenário pode potencializar situações como a da Figura 6.20, em que, por falta de mistura, apenas um dos lados da caixa se encontra em funcionamento, comprometendo os níveis de produção.



Figura 6.20 - Caixa com Mistura apenas num dos Lados

Para além do mencionado, os dados aqui figurados confirmam os resultados obtidos no ponto 6.3 B para a variável operatória crescimento do bastão.

A linha que apresenta a maior discrepância na distribuição da mistura, foi a que revelou ter diferenças estatisticamente significativas no crescimento do bastão entre os 2 lados de uma mesma máquina (Tabela 6.6). Para a linha 3, o lado A, que habitualmente recebe 54% da mistura alimentada à caixa, foi o que demonstrou o maior ritmo de crescimento.

Ao aprofundar a problemática, chegou-se à conclusão de que as máquinas que constituem a linha 3 não se encontravam alinhadas com a calha do carrinho, o que fazia com que a deposição da mistura fosse maior num dos lados. Além disso, o comportamento do carrinho era distinto do da linha 4. As portas não abriam em simultâneo, e a forma com que abriam promovia a deslocação da mistura para o lado A da caixa.

Como solução, efetuaram-se as medições necessárias nas linhas, e os espaços que cada máquina devia de ocupar foram devidamente identificados. O problema foi comunicado à manutenção que procedeu ao ajuste das linhas e dos respetivos carros de

abastecimento. Esta ação acabou por ser estendida a todas as linhas da extrusão AGLO, e não apenas às alvo de estudo na presente dissertação.

Outra constatação importante recaiu sobre a quantidade de mistura abastecida a cada uma das caixas nas diferentes linhas. Visualmente era possível constatar que existia uma diferença, mas só se teve percepção do quão grande era após as medições realizadas (Tabela 6.6).

As misturas utilizadas nestas linhas são de 70 Kg. Quer isto dizer que enquanto na linha 4 uma mistura permite abastecer 5 máquinas, na linha 3, com a mesma quantidade de mistura, é possível abastecer apenas 3 máquinas.

Alguns esforços para combater as questões de distribuição da mistura, quer pelos lados da caixa quer pelos próprios tubos das máquinas extrusoras, já tinham sido realizados. Exemplos disso são a aplicação de uma divisão triangular para separar os dois lados da caixa, e a instalação dos “chapéus”, em aço inoxidável, no topo das máquinas, colocados estrategicamente no centro para auxiliar na repartição da mistura. No entanto estas medidas não surtiram o efeito pretendido, e o problema persistiu.

Em adição ao que já havia sido implementado, criou-se uma norma e a respetiva folha de registo (presente no Anexo D), para avaliar de forma regular a distribuição da mistura. Ficou estipulado que o controlo seria efetuado trimestralmente, e que no momento do controlo, se mais de metade da linha se encontrasse desalinhada, a situação teria de ser reportada à manutenção.

B. Alimentação das Linhas de Extrusão

Intervalo de Tempo Entre Abastecimentos

Começou-se por analisar a regularidade com que, dentro de uma linha, a mesma máquina extrusora era abastecida com mistura (Δt de abastecimento), tendo-se apurado uma média de 51 minutos para a linha 3 e uma média de 36 minutos para a linha 4 (Tabela 6.16).

Tabela 6.16 – Resumo Δt de Abastecimento para as Linhas 3 e 4

	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	Observações
Linha 3	8 min	51 min	1h34 min	20 min	79
Linha 4	5 min	36 min	1h24 min	17 min	56

Uma vez que o crescimento de bastão médio, determinado no ponto 6.3 B, para a linha 3 demonstrou ser superior ao da linha 4, seria de esperar que o Δt de abastecimento fosse menor nessa mesma linha. Ou seja, a mistura seria consumida mais rapidamente e como tal haveria necessidade de alimentar a máquina mais cedo.

De facto, o consumo médio de mistura determinado para a linha 3 (≈ 0.41 Kg/min) foi superior ao determinado para a linha 4 (≈ 0.37 Kg/min). No entanto, ao ser alimentada com 22 Kg, uma máquina da linha 3 fica sem mistura passados 55 minutos do seu abastecimento, enquanto que uma máquina na linha 4, ao ser alimentada com 14 Kg, fica sem mistura passados 38 minutos.

Intervalos de tempo entre abastecimentos na ordem dos valores máximos determinados: 1h34 (linha 3) e de 1h24 (linha 4), refletem-se em tempos de caixa sem mistura de 43 minutos e 46 minutos, respetivamente, e consequentemente em problemas de qualidade no produto final e em menores taxas de produção.

De facto, contabilizando este cenário, e corpos de 48.5 mm de comprimento, por cada extrusora que esteja 43 minutos sem mistura são menos 1600 corpos produzidos para a linha 3. Já para a linha 4, uma extrusora sem mistura durante 46 minutos traduz-se em menos 1500 corpos.

Por oposição, intervalos entre abastecimentos de 5 a 8 minutos, como os valores mínimos aferidos, também não são favoráveis, uma vez que promovem a acumulação de mistura nas caixas e o aumento do tempo de vida da mesma.

Nestes casos a mistura pode mesmo secar, formando grumos, e a reação de polimerização iniciar-se antes da entrada da mistura nos fornos, sobretudo nos meses de Verão onde as temperaturas são mais elevadas. O que não é de todo favorável a uma aglomeração eficiente.

Todavia, esta situação ocorre esporadicamente, e apenas quando a quantidade de mistura presente no tegão de descarga não é a indicada para abastecer totalmente uma máquina, voltando o carrinho à mesma extrusora assim que uma nova mistura é depositada no tegão.

Existindo apenas um carrinho de abastecimento por linha, se várias máquinas ficarem simultaneamente sem matéria-prima, é impossível que o carrinho consiga chegar a todas de uma só vez. Assim sendo, o ideal é a máquina ser alimentada antes de ficar sem mistura, mas não muito antes, pelos motivos referidos anteriormente.

Contudo, o carrinho só pode realizar o abastecimento se existir mistura disponível no tegão de descarga.

Intervalo de Tempo Entre Misturas

Na extrusão AGLO, a elaboração das misturas fica a cargo de um operador que controla toda a operação a partir de uma plataforma.

Apesar de a mistura ser elaborada automaticamente, cabe ao operador dar início à mesma, controlando os parâmetros necessários e estipulados nas normas.

O intervalo de tempo correspondente à elaboração de uma mistura (Δt mistura) pode ser dividido em duas parcelas: o intervalo de tempo que a mistura demora efetivamente a ser produzida (Δt preparação mistura), e o intervalo de tempo que decorre entre o início de 2 misturas consecutivas (Δt entre misturas).

É importante referir que o Δt preparação mistura é um valor fixo, e que para as linhas em estudo é de aproximadamente 16 minutos.

Quer isto dizer, que em média, pelos tempos determinados (Tabela 6.17), um operador demora cerca de 11 minutos a iniciar uma nova mistura na linha 3, e 19 minutos a iniciar uma mistura na linha 4.

Em ambas as linhas, os tempos mínimos correspondem a situações em que mal uma mistura fica pronta o operador inicia uma nova. Já os tempos máximos revelam situações em que o operador chega a demorar 40 e 60 minutos para iniciar a elaboração de uma nova mistura.

Tabela 6.17 - Resumo Δt Mistura para as Linhas 3 e 4

	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	Observações
Linha 3	16 min	27 min	56 min	10 min	13
Linha 4	18 min	35 min	1h20 min	20 min	9

Com os crescimentos médios de bastão apurados para cada uma das máquinas, e para as condições presentes na Tabela 6.18, calculou-se o consumo de mistura por turno, tendo-se concluído qual o número de misturas necessárias para satisfazer as necessidades das 2 linhas, e comparado esse mesmo valor com o número de misturas efetivamente produzidas por turno (Tabelas 6.19 e 6.20).

Para tal considerou-se uma massa volúmica tida como ideal para os corpos produzidos, o tempo de operação equivalente à duração do turno, e que cada uma das 8 extrusoras possuía os seus 50 tubos a funcionar corretamente.

Tabela 6.18 - Condições Utilizadas nos Cálculos do Consumo de Mistura por Linha e por Turno

Granulado	RCT
Calibre Corpo	48,5 x 33
Massa Volúmica Corpo (Kg/m³)	275
Tempo Operação (h/turno)	8
Nº Tubos Operacionais p/ Extrusora	50

Tabela 6.19 – Consumo Mistura/Turno Linha 3

Extrusora	Crescimento Bastão Médio (cm/min)	Corpos/Turno	Consumo Mistura (Kg/turno)	Misturas/ Turno
M1	3,4	16819	191,9	2,7
M2	3,5	17499	199,6	2,9
M3	3,3	16277	185,7	2,7
M4	3,6	17987	205,2	2,9
M5	3,4	16810	191,8	2,7
M6	3,2	15868	181,0	2,6
M7	3,7	18329	209,1	3,0
M8	3,4	16834	192,0	2,7

23 Misturas

Tabela 6.20 - Consumo Mistura/Turno Linha 4

Extrusora	Crescimento Bastão Médio (cm/min)	Corpos/Turno	Consumo Mistura (Kg/turno)	Misturas/ Turno
M1	3,7	18144	207,0	3,0
M2	3,4	16713	190,7	2,7
M3	3,5	17244	196,7	2,8
M4	3,2	15872	181,1	2,6
M5	2,1	10198	116,3	1,7
M6	2,7	13319	151,9	2,2
M7	3,3	16524	188,5	2,7
M8	3,1	15249	173,9	2,5
21 Misturas				

Determinou-se que seriam necessárias, por turno, 23 misturas para a linha 3 e 21 misturas para a linha 4.

Todavia, os intervalos de tempo médios entre misturas aferidos permitem apenas que sejam produzidas 18 misturas na linha 3 (Equação 6.1) , menos 5 que as necessárias, e 14 misturas na linha 4 (Equação 6.2), menos 7 que as necessárias.

$$\text{Linha 3} = \frac{480 \text{ minutos}}{27 \frac{\text{minutos}}{\text{mistura}}} \approx 18 \text{ misturas} \quad (6.1)$$

$$\text{Linha 4} = \frac{480 \text{ minutos}}{35 \frac{\text{minutos}}{\text{mistura}}} \approx 14 \text{ misturas} \quad (6.2)$$

Isto significa que, perante este panorama, são produzidos em média menos 30.700 corpos na linha 3 e menos 43.000 corpos na linha 4, do que aqueles que poderiam vir a ser produzidos em cada um dos turnos.

Caso este cenário ocorra de forma sistemática durante um dia de produção, podemos contar com uma quebra total de 221.000 corpos .

Intervalo de Tempo de Caixas sem Mistura

A presença de caixas sem mistura nas linhas de extrusão foi a situação mais grave que se detetou durante o período de estágio. No entanto, após os tempos recolhidos e os cálculos efetuados foi possível perceber bem o como e o porquê desta situação existir.

Os valores figurados na Tabela 6.21 correspondem ao número de vezes em que a problemática foi diretamente observada durante os meses de estágio.

Convém referir que, o intervalo de tempo de caixa sem mistura foi sempre registado a partir do momento em que se encontrava a caixa sem mistura, podendo a mesma já estar há mais tempo sem mistura do que aquele que foi contabilizado; e que as observações foram realizadas apenas no 2º turno.

Tabela 6.21 - Δt sem Mistura para as Linhas 3 e 4

	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	Observações
Linha 3	3 min	39 min	1h30 min	18 min	44
Linha 4	1 min	30 min	1h16 min	16 min	57

Sondas de Alimentação

O abastecimento da mistura é garantido pelo carrinho, que se desloca até à máquina após ser efetuado um pedido por parte da sonda que se encontra posicionada no interior da caixa (Figura 6.21).

Para além de não haver uma uniformização na escolha das sondas utilizadas, quer entre linhas quer entre máquinas de uma mesma linha, as mesmas encontravam-se posicionadas em ângulos e distâncias diferentes. Isto faz que com que a leitura da sonda não seja igual, podendo em alguns casos o pedido de alimentação ser efetuado sem haver necessidade e vice-versa.

Pela Tabela 6.22 é possível concluir, que apesar de as médias das distâncias das sondas serem relativamente semelhantes entre as 2 linhas, a maior diferença foi registada entre as máquinas da linha 4 (desvio padrão = 2,5 cm).

Além disso, o facto da sonda se encontrar posicionada apenas num dos lados da caixa, em adição à distribuição heterogénea da mistura, pode conduzir a cenários em que a extrusora necessita de matéria-prima num dos lados, mas que por ser o lado onde a sonda não se encontra posicionada, não existe essa deteção.

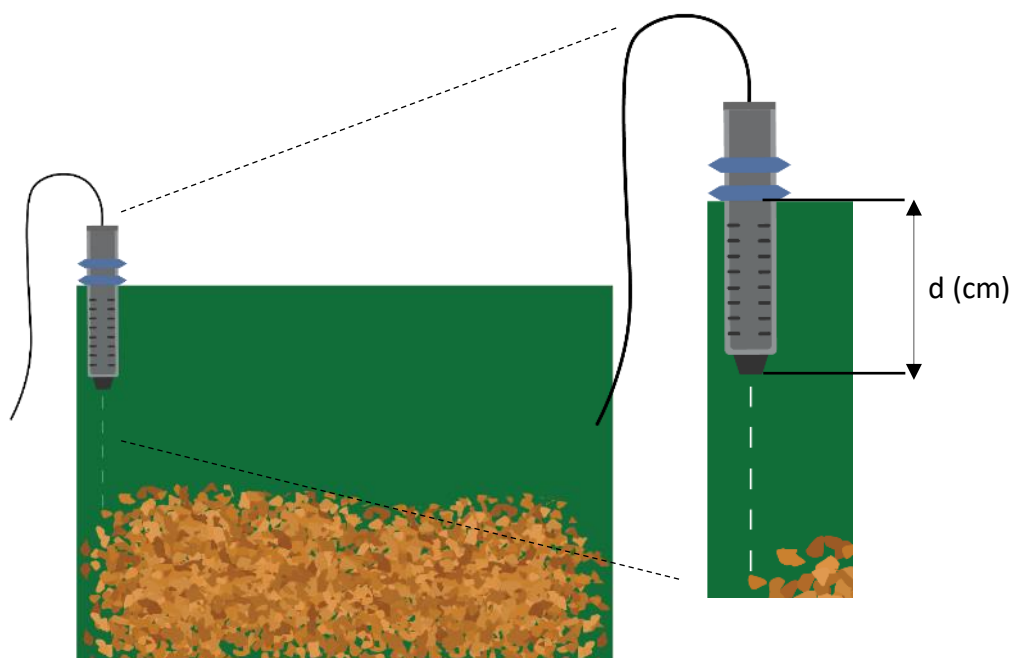


Figura 6.21 – Esquema Representativo da Disposição Sondas de Alimentação nas Linhas de Extrusão

Tabela 6.22 – Distâncias Sondas de Alimentação para as Linhas 3 e 4

	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão
Linha 3	4,0 cm	5,3 cm	6,0 cm	0,8 cm
Linha 4	2,0 cm	4,1 cm	10,0 cm	2,5 cm

As sondas devem então de se encontrar ajustadas para o mesmo nível de pedido de granulado à extrusora. Este ajuste deve de ser realizado periodicamente e preferencialmente para o nível mínimo disponível.

6.8. Ensaio Caixas sem Mistura

Como se pode comprovar pela Figura 6.22, que resume os resultados dos 3 ensaios realizados para cada uma das linhas, existe uma correlação forte e positiva, entre o tempo de caixa sem mistura e a percentagem de absorção dos corpos determinada. Assim quanto maior for o intervalo de tempo em que a caixa fica sem mistura maior será a percentagem de absorção dos corpos extrudidos.

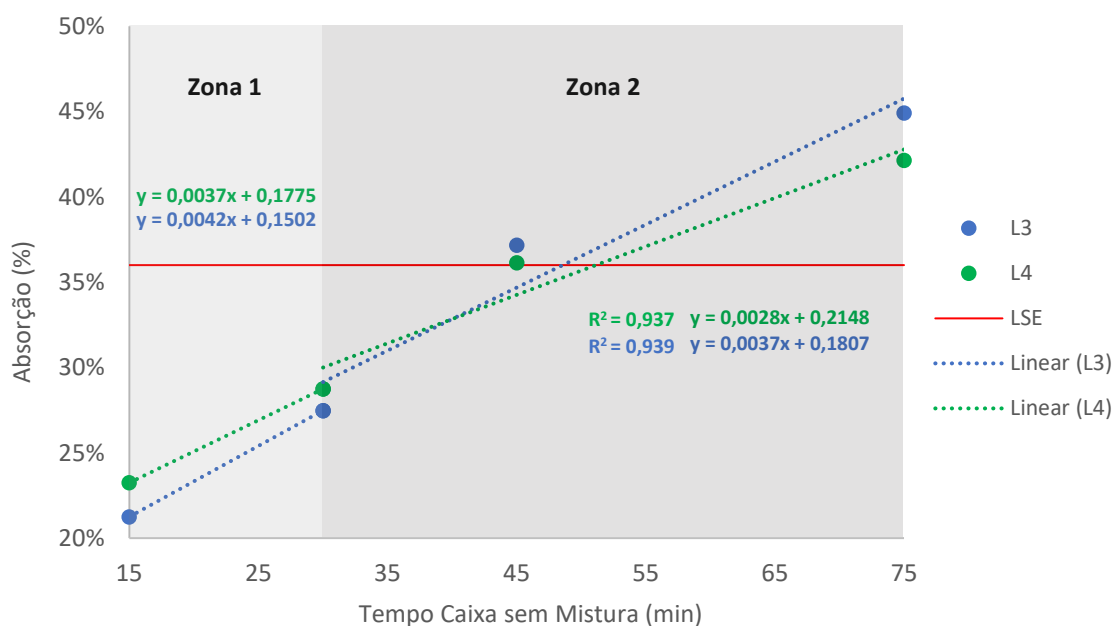


Figura 6.22 - % de Absorção em Função do Tempo de Caixa sem Mistura

O comportamento referido pode ser distinguido em 2 zonas distintas. Na zona 1, o declive associado à linha 4 é maior, quer isto dizer que para tempos compreendidos entre os 15 e os 30 minutos de caixa sem mistura, a absorção esperada será superior para os corpos produzidos nesta linha. Na zona 2 o cenário inverte-se, passando a linha 3 a apresentar o maior declive, e consequentemente as maiores percentagens de absorção.

É partir dos 45 minutos de caixa sem mistura que a absorção média ultrapassa o limite superior de especificação (os 36%), no entanto os 15 minutos de caixa sem mistura revelaram-se suficientes para a desagregação dos corpos ser visualmente perceptível (Figura 6.23).



Figura 6.23 – Bastões Resultantes do Ensaio da Caixa sem Mistura para 15 minutos (A); para 30 minutos (B); para 45 minutos (C) e para 1h15 minutos (D)

De facto, para qualquer tempo utilizado no ensaio, os bastões obtidos apresentam indícios de desaglomeração e refletem os resultados apurados quantitativamente.

Para os 15 minutos de caixa sem mistura (Figura 6.23A) observam-se pequenas saliências entre os grânulos de cortiça, consequência direta de uma aglomeração pouco eficiente, contudo o bastão não chega a quebrar. Para os restantes tempos o cenário agrava-se com o aparecimento de fendas de grandes dimensões, o que torna difícil o crescimento contínuo do bastão.

Em situações extremas, que correspondem a tempos superiores a 45 minutos (Figura 6.23C e D), há a possibilidade de formação de um anel de látex, que por ser isolante, compromete não só a reação de polimerização da cola e inevitavelmente a aglomeração dos corpos, mas também o diâmetro do próprio bastão.

Para além de afetar diretamente a produção, o tempo de caixa sem mistura coloca em causa a qualidade do produto final.

Acontece que a grande parte dos corpos provenientes destes bastões não são identificados *a priori*, e após serem devidamente retificados, ponçados e topejados, acabam por não ser removidos pela escolha eletrónica, seguindo diretamente para o cliente final.

Escolha Eletrónica

Para avaliar a frequência e a gravidade da situação descrita, foram recolhidos 40 corpos para cada um dos tempos de caixa sem mistura estudados. Os corpos passaram pela zona de retificação da secção AGLO e de seguida foram encaminhados para as máquinas de escolha eletrónica.

É possível concluir, através da análise da Figura 6.24, que à medida que o tempo de caixa sem mistura aumenta, a percentagem de rolhas defeituosas que segue diretamente para o cliente diminui, o que constitui um aspeto positivo. No entanto a percentagem de corpos que é direcionada para rebaixe aumenta. Quer isto dizer que existe uma grande probabilidade destes corpos chegarem ao cliente final na mesma, mas com dimensões menores que as inicialmente estipuladas.

A percentagem de rolhas dirigidas para lenhas surge a partir dos 30 minutos de caixa sem mistura. Para os 30 e os 45 minutos a percentagem foi a mesma, e igual a 5%, já para a 1h15 houve um aumento de 5%, acabando por serem dispensadas 10% das rolhas analisadas. Nestes casos, a quantidade de defeitos presente nestas rolhas é de tal maneira grave que não há forma de as vender ao cliente, e como tal são aproveitadas para a produção de energia.

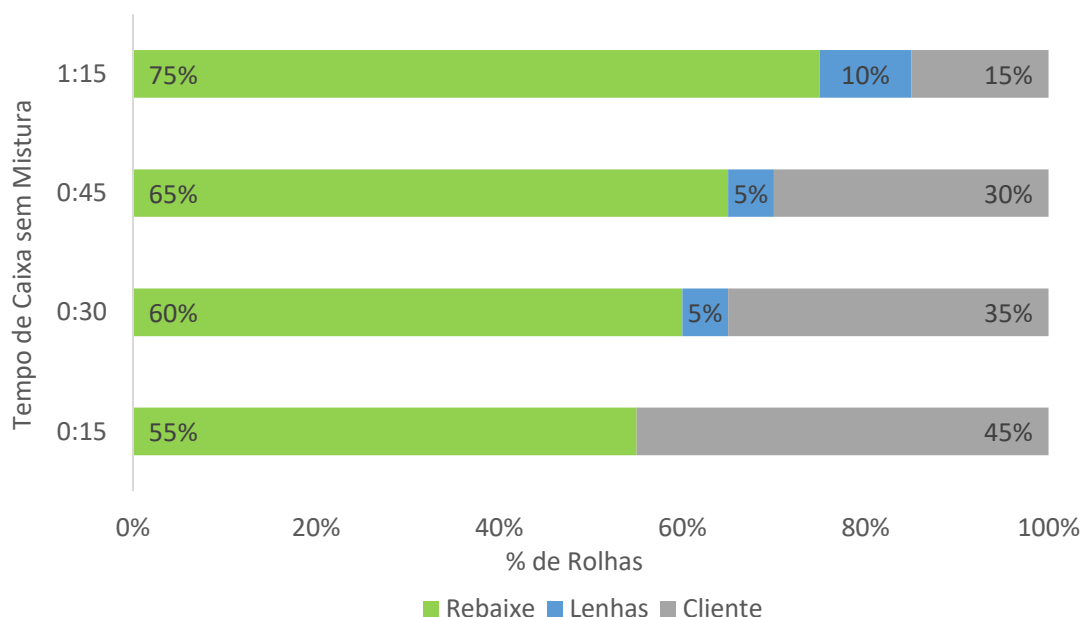


Figura 6.24 - Escolha Eletrónica

Na escolha eletrónica, as máquinas avaliam apenas o aspeto exterior do corpo.

Muitas das vezes, a passagem dos corpos pela retificação ajuda a disfarçar os indícios de desaglomeração mais superficiais. No entanto o interior revela outra história. A Figura 6.25 é exemplo disso mesmo. O aspeto exterior destas 2 rolhas era idêntico, não existiam defeitos visíveis e o destino escolhido pela máquina para ambos foi o cliente final. Contudo, quando submetidas ao Teste da Bomba Hidrostática, uma rolha apresentou uma percentagem de absorção igual a 42% enquanto que a outra absorveu apenas 8% de água. Ao realizarmos um corte transversal nas rolhas é fácil perceber o porquê deste comportamento.

A rolha cuja absorção foi de 8% apresenta uma superfície homogênea, sendo praticamente impercetível onde começa e onde termina a junção dos grânulos de cortiça. Já para a rolha onde a absorção foi de 42%, existem interstícios entre os grânulos de

cortiça, dando a ideia de que a reticulação da cola não ocorreu corretamente e que a mesma não aderiu totalmente à cortiça.

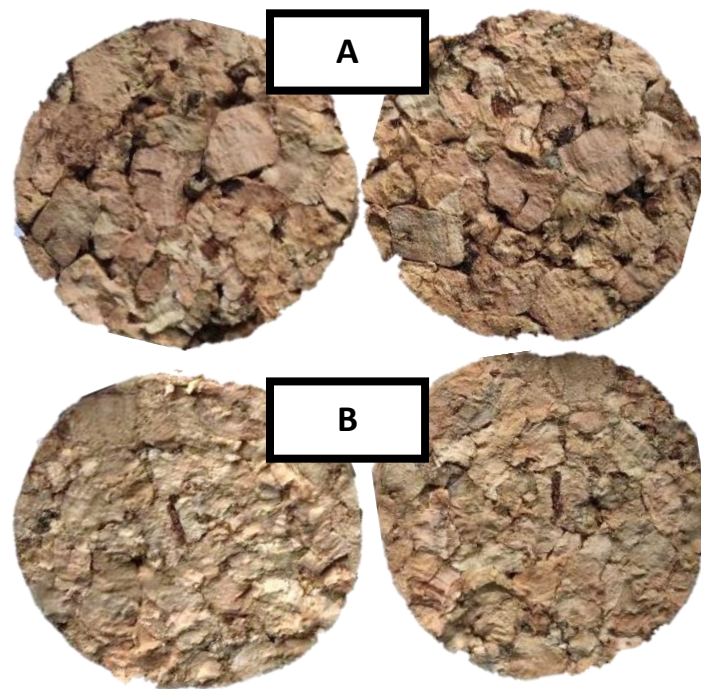


Figura 6.25 – Rolha com Percentagem de Absorção igual a 42% (A) e Rolha com Percentagem de Absorção igual a 8% (B)

6.9. Simulação da Alimentação das Linhas em Excel

A Tabela 6.23 resume o cenário real de operação da linha 4 da extrusão AGLO quando se efetuou a presente simulação.

Tabela 6.23 – Condições Reais de Operação Linha 4 Extrusão AGLO

Nº de Abastecimentos por Ronda	5
Qtd. Mistura Produzida (Kg)	70
Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	14
Δt Entre Misturas Médio (min)	19

Tendo em conta os dados apresentados, considerando a produção de corpos de calibre 48,5x33 e utilizando o crescimento médio de bastão próprio de cada uma das máquinas, foi possível concluir, através da Tabela 6.24, que o aparecimento de caixas sem mistura é certo, independentemente da quantidade de mistura transportada pelo carrinho.

Embora, no contexto atual existam situações em que a caixa é alimentada cerca de 3 minutos antes de ficar completamente sem mistura, as mesmas contrastam com cenários em que a caixa fica perto de 45 minutos sem mistura, o que já vimos, pela Figura 6.22, ser um problema grave, uma vez que potencia o aparecimento de corpos com percentagens de absorção superiores às permitidas pela especificação (36%).

Tabela 6.24 – Simulação Linha 4 da Extrusão AGLO Condições Reais

Abastecimentos/ Ronda	Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	Máximo Δt s/ mistura (min)		Mínimo Δt s/ mistura (min)	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4	18	32,2	32,1	21,4	21,0
5	14	44,7	35,4	9,6	-2,9
6	12	44,7	34,6	11,2	0,8
7	10	48,3	37,1	9,8	2,8
8	9	16,0	16,0	10,7	10,7

As máquinas que constituem uma linha de extrusão são distintas, o que faz com que tenham performances díspares, pelo que é muito difícil garantir uma homogeneidade no consumo da mistura.

Além disso, o tempo de preparação da mistura é um valor fixo, e a quantidade de mistura produzida é condicionada pelo tamanho da misturadora, que pelos ensaios efetuados pode suportar, sem transbordar, no máximo 80 Kg de granulado.

Com o intuito de reduzir os períodos de caixa sem mistura anteriormente apurados, realizou-se uma nova simulação, desta vez assumindo a utilização de 80 Kg de granulado para a elaboração da mistura.

Pela Tabela 6.25, é possível constatar que o aumento da mistura não é suficiente para combater o problema em análise, todavia permite diminuir a amplitude dos intervalos determinados.

Tabela 6.25 - Simulação Linha 4 da Extrusão AGLO para Mistura 80 Kg

Abastecimentos/ Ronda	Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	Máximo Δt s/ mistura (min)		Mínimo Δt s/ mistura (min)	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4	20	26,8	26,7	14,5	14,1
5	16	41,1	30,8	5,1	-8,4
6	13	41,1	30,2	7,3	-3,2
7	11	45,2	33,5	5,8	-0,5
8	10	13,3	13,3	7,2	7,2

Apesar do período de preparação da mistura ser fixo, como já foi mencionado, o intervalo que decorre entre 2 misturas consecutivas depende da atuação do operador responsável por iniciar uma nova mistura, podendo assim ser reduzido.

De facto, tanto para uma mistura composta por 70 Kg de granulado (Tabela 6.26), como para uma mistura de 80 Kg de granulado (Tabela 6.27), conclui-se a importância desta ação, uma vez que para um Δt entre misturas nulo, existem, em ambos os casos, 2 cenários que permitem garantir a ausência de caixas sem matéria-prima: o cenário em que são realizados 4 abastecimentos por cada mistura produzida, e o cenário em que são efetuados 8 abastecimentos. Apesar de os menores valores se encontrarem associados à mistura dos 80 Kg de granulado, como aliás seria de esperar.

Tabela 6.26 - Simulação Linha 4 da Extrusão AGLO para Mistura 70 Kg e Δt entre misturas=0

Abastecimentos/ Ronda	Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	Máximo Δt s/ mistura (min)		Mínimo Δt s/ mistura (min)	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4	18	-5,8	-5,9	-16,6	-17,0
5	14	6,7	-2,6	-9,4	-21,9
6	12	6,7	-3,4	-7,8	-18,2
7	10	10,3	-0,9	-9,2	-16,2
8	9	-3,0	-3,0	-8,3	-8,3

Tabela 6.27 - Simulação Linha 4 da Extrusão AGLO para Mistura 80 Kg e Δt entre misturas=0

Abastecimentos/ Ronda	Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	Máximo Δt s/ mistura (min)		Mínimo Δt s/ mistura (min)	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4	20	-11,2	-11,3	-23,5	-23,9
5	16	3,1	-7,2	-14,1	-27,4
6	13	3,1	-7,8	-11,7	-22,2
7	11	7,2	-4,5	-13,2	-19,5
8	10	-5,7	-5,7	-11,8	-11,8

Pelos resultados expostos, torna-se evidente o quão vantajoso seria adotar, para as linhas de extrusão, uma conduta que permitisse uma produção de misturas em “loop”.

O ideal seria ter um sistema automatizado, que iniciasse a produção de uma nova mistura, no momento em que se desse a descarga completa da anterior.

Deste modo, não só eram evitados os intervalos de tempo de caixa sem mistura, como era controlada a problemática da desaglomeração, ficando o próprio operador livre para realizar um controlo mais frequente, e minucioso, do processo em estudo, ou desempenhar qualquer outra tarefa de maior relevo.

Para se poder implementar a melhoria sugerida, a instalação de balanças automáticas, semelhantes às utilizadas na linha 4 da extrusão AGLO, teria de ser introduzida nas restantes linhas. O que já se tinha concluído ser benéfico, devido ao estudo dos desvios na adição dos produtos químicos, previamente efetuado e apresentado na Figura 6.9.

Além disso, o acerto da humidade teria de ser realizado de forma semelhante à moldação, sendo que para tal, seria apenas necessário adicionar os devidos comandos nas consolas associadas a cada uma das misturadoras, uma vez que o sistema de tubagens já se encontra instalado nas linhas.

Assim, e dado que o mesmo lote de granulado RCT abastece simultaneamente as linhas 3 e 4, e permite realizar mais do que 1 mistura por linha, o controlo da humidade poderia ser realizado de forma mais espaçada, sendo o valor apurado introduzido na consola e a massa de água a adicionar calculada com base numa equação pré-definida (Equação 6.3), e posteriormente automaticamente acrescentada ao sistema.

$$m_{\text{água adicionada}}(g) = m_{\text{granulado}} \times H_{\text{granulado}} \times \left(\frac{H_{\text{pretendida}}}{H_{\text{granulado}}} - 1 \right) \quad (6.3)$$

Onde:

$m_{\text{água adicionada}}(g)$ – Massa de água adicionada no acerto;

$m_{\text{granulado}}(g)$ – Massa de granulado utilizada na mistura;

$H_{\text{granulado}}$ - Humidade presente no granulado;

$H_{\text{pretendida}}$ - Humidade ideal para o processo de extrusão.

A simulação realizada foi igualmente aplicada à linha 3 da extrusão AGLO, encontrando-se os resultados no Anexo C. As conclusões retiradas foram concordantes com o referido para a linha 4.

O Excel desenvolvido e aqui aplicado, foi criado de modo a permitir analisar o comportamento do abastecimento de todas as linhas de extrusão presentes na UI-Equipar, e contem todos os dados necessários para tal.

No Anexo C encontra-se ainda o guia de utilização do mesmo.

Acompanhamento do Arranque da Linha 4 da Extrusão AGLO

Tendo em mente o objetivo de testar a eficácia das sugestões mencionadas, foi seguido de perto, o arranque da linha 4 da extrusão AGLO, com misturas de 80 Kg de granulado, 6 abastecimentos por mistura e intervalos de tempo entre misturas inexistentes. A ideia seria utilizar 8 abastecimentos por mistura, no entanto não foi possível regular o carrinho para tal.

Foi criada uma receita, na qual, as quantidades dos elementos que compõem a mistura, foram devidamente ajustados para os 80 Kg de granulado utilizados.

Além disso, a elaboração das misturas foi controlada para garantir um Δt entre misturas igual a 0, e todas as sondas de alimentação foram ajustadas para o mesmo nível de pedido de abastecimento.

O estudo foi realizado em setembro, e a linha foi acompanhada durante as 8 horas de laboração do turno 1. Durante esse período foram registados os instantes de abastecimento das máquinas extrusoras, estimaram-se os consumos das mesmas através dos crescimentos de bastão apurados, e recolheram-se 2 amostras de 64 corpos para realizar o Teste da Bomba Hidrostática.

Através dos dados apresentados na Tabela 6.28 é possível concluir que as máquinas foram alimentadas, em média, em intervalos de aproximadamente 24 minutos. Não existindo uma diferença significativa entre os tempos máximos, mínimos e médios de abastecimento.

Este fator, associado ao consumo médio de mistura determinado para a linha 4 (≈ 0.38 Kg/min), e ao facto de as caixas serem alimentadas com 13 Kg de mistura, permite afirmar que não foram encontradas caixas sem matéria-prima.

Isto porque, nas condições referidas, uma máquina fica sem mistura passados 27 minutos. No entanto, a regularidade com que os abastecimentos foram efetuados, possibilita suprimir as necessidades de consumo das máquinas, e como tal evitar a problemática em estudo: caixas sem mistura.

Tabela 6.28 - Resumo Δt de Abastecimento Linha 4

Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	Observações
20 min	24 min	26 min	2 min	21

Relativamente à absorção dos corpos, a Figura 6.26, revela que para ambas as amostras recolhidas e para qualquer uma das máquinas analisadas, as percentagens de absorção são baixas e todas se enquadram na categoria “BOM”.

Entre amostras, a média não diferiu consideravelmente, no entanto os valores mais elevados foram determinados na amostra 2.

Este comportamento reforça a ideia de que ao controlarmos a situação das caixas sem mistura é possível reduzir substancialmente as percentagens de absorção dos corpos produzidos na UI-Equipar, e consequentemente combater a problemática da desaglomeração.

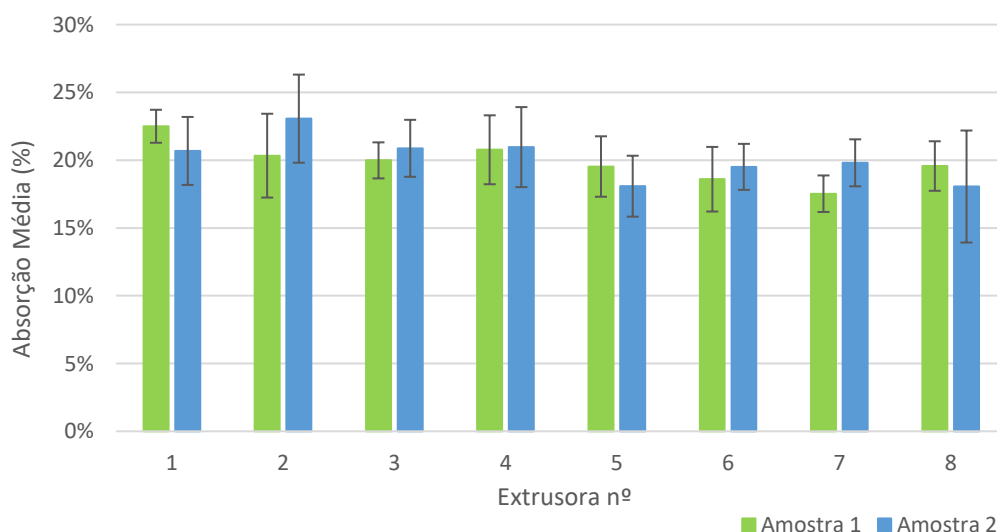


Figura 6.26 – Absorção Corpos Recolhidos (N=64 por amostra e N=8 por máquina/amostra)

6.10. Evolução do Fenómeno de Absorção no Processo

Pela observação da Figura 6.27, é possível concluir que para qualquer um dos intervalos de estabilização estudados no 1º ensaio, a percentagem de absorção das rolhas diminui à medida que se avança no processo. O que pode ser confirmado pelos fortes fatores de correlação associados às linhas de tendência de cada um dos tempos analisados.

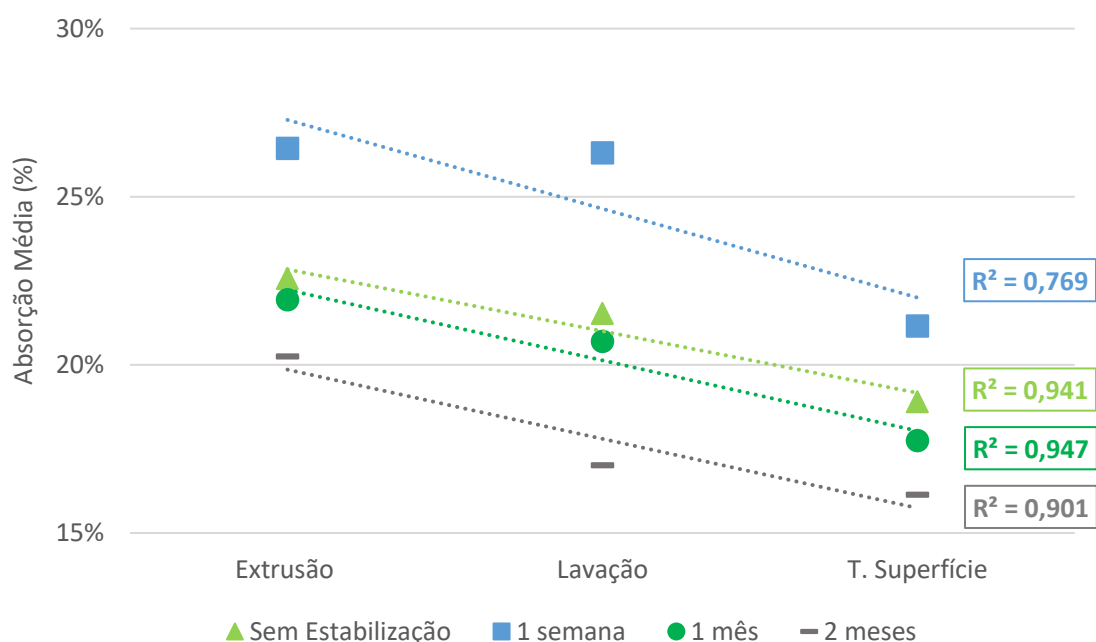


Figura 6.27 – Absorção Rolhas ao Longo do Processo (1º Ensaio; N=50 por grupo)

De facto, os maiores valores determinados encontram-se relacionados com a etapa extrusão (26,4%), enquanto que os menores foram observados após o tratamento de superfície (16,1%).

Para todos os tempos, à exceção dos 2 meses de estabilização, esta diminuição foi mais acentuada entre as etapas lavação-tratamento de superfície, e praticamente irrelevante entre as etapas extrusão-lavação.

Este comportamento é perfeitamente plausível, uma vez que o tratamento de superfície, para além de permitir obter forças de extração aceitáveis para o ser humano, acaba por ajudar a diminuir a migração de líquidos através da rolha, dado que o processo

consiste em adicionar às rolhas um produto que geralmente é constituído por parafina e/ou silicone (ambos substâncias hidrofóbicas).

Para qualquer uma das etapas em análise, os valores de absorção mais elevados foram os obtidos após 1 semana de estabilização, enquanto que os menores foram alcançados passados 2 meses de estabilização. Podendo-se concluir assim que existe uma relação aparente entre as variáveis tempo de estabilização das rolhas e o fenómeno de absorção das mesmas.

No entanto não se conseguiu encontrar uma fundamentação para o facto das absorções das rolhas sem estabilização se apresentarem inferiores às das rolhas com 1 semana de estabilização.

Acreditando que a percentagem de humidade presente nas rolhas poderia ajudar a explicar o sucedido, realizou-se um 2º ensaio, onde para além de ser analisado o comportamento de absorção das rolhas, caracterizou-se as amostras relativamente à sua percentagem de humidade.

As conclusões retiradas da Figura 6.28 vão de acordo ao determinado previamente. A percentagem de absorção diminui entre as sucessivas etapas do processo, atingindo os menores valores após o tratamento de superfície.

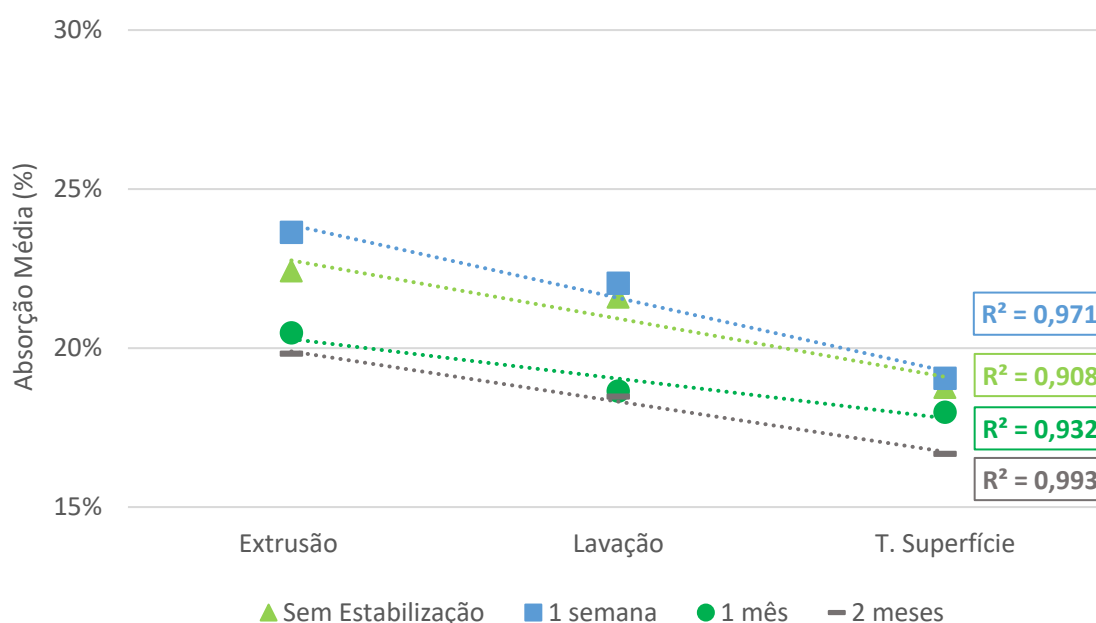


Figura 6.28 – Absorção Rolhas ao Longo do Processo (2º Ensaio, N=50 por grupo)

Uma vez mais, os valores de absorção das rolhas com 1 semana de estabilização apresentaram-se superiores aos das rolhas com 2 meses de estabilização, o que reforça a ideia de que este intervalo de tempo influencia positivamente a migração de líquidos nas rolhas de cortiça.

Desta vez, a diferença entre as rolhas sem estabilização e as rolhas com apenas 1 semana de estabilização foi menor, sendo que em algumas etapas os valores chegaram mesmo a coincidir.

Relativamente à humidade dos corpos, o comportamento presente na Figura 6.29 assemelha-se ao descrito para a absorção. A humidade diminui ao longo do processo e com o tempo de estabilização. As rolhas que possuem uma menor percentagem de humidade são as pertencentes à etapa do tratamento de superfície.

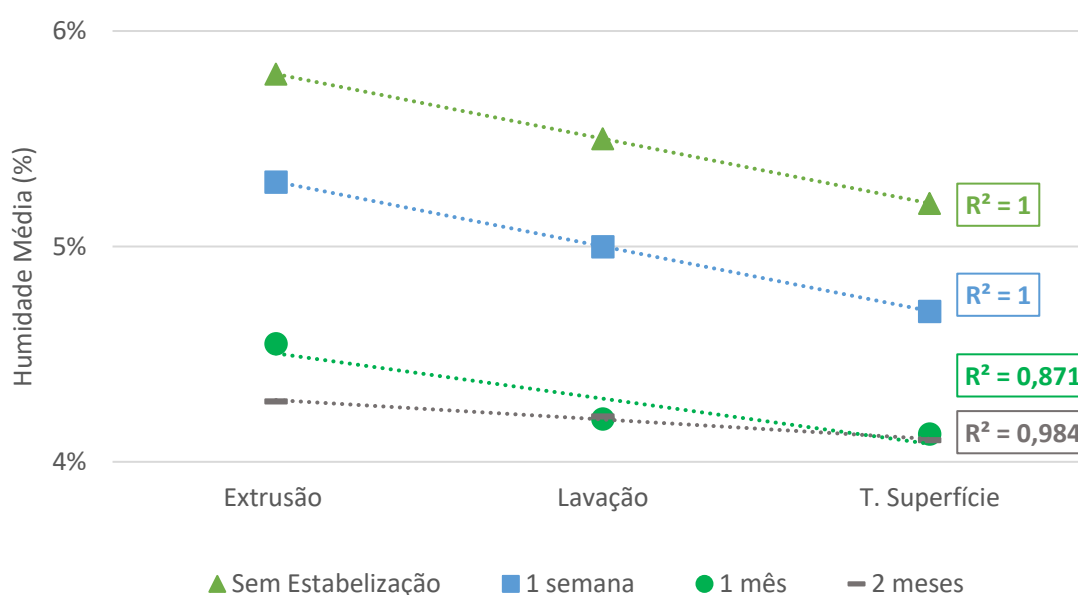


Figura 6.29 – Humidade Rolhas ao Longo do Processo (2º Ensaio, N=10 por grupo)

Uma justificação provável para este cenário é o facto de por vezes a própria reação de polimerização não se dar completamente no interior dos fornos, continuando a ocorrer posteriormente, embora a uma velocidade menor.

O que poderá fazer sentido se pensarmos que a maior percentagem de humidade está relacionada com uma maior quantidade de grupos NCO livres, e como tal numa menor extensão da reação de polimerização.

6.11. Método Expedito para o Teste da Bomba Hidrostática

A análise de Figura 6.30 permite constatar a existência de uma correlação forte, e negativa, entre as duas percentagens de absorção em estudo.

A percentagem de Absorção m1-m2 será tanto mais negativa quanto maior for a diferença entre as duas massas, ou seja, quanto maior for a quantidade de água absorvida pelo corpo durante a sua permanência na bomba.

Por sua vez, a percentagem de Absorção será tanto maior quanto menor for a percentagem de Absorção m1-m2.

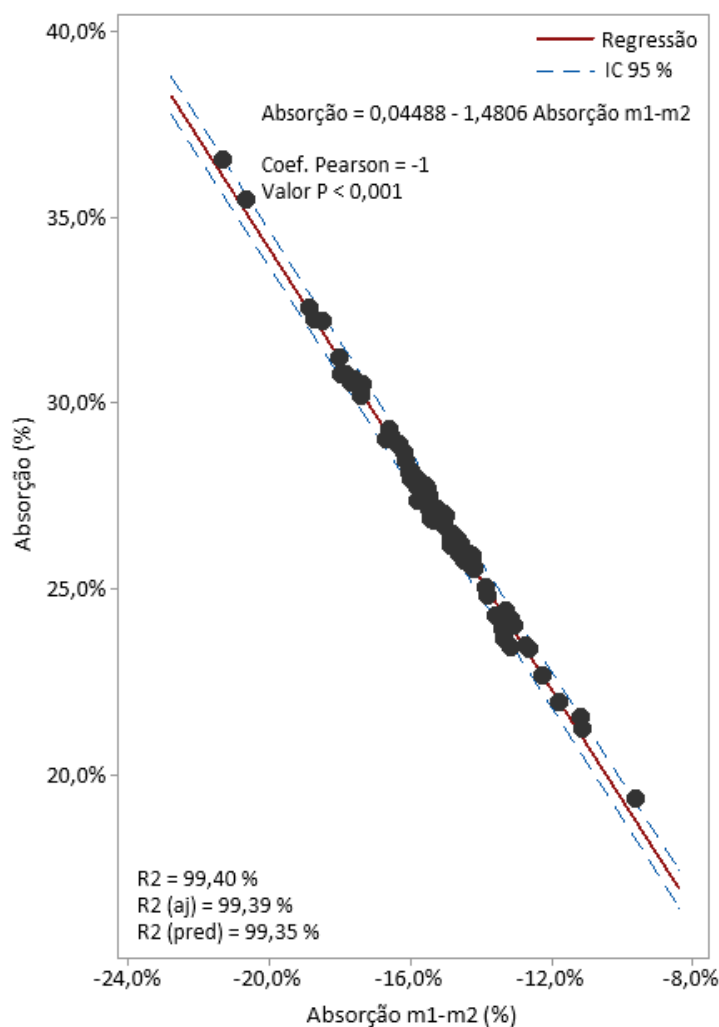


Figura 6.30 – Correlação entre a Percentagem de Absorção a e a Percentagem de Absorção m1-m2 (N=80)

O valor de 99,35% apurado para o R² predito, indica que o modelo de regressão prediz bem as respostas para novas observações.

Ao ser verdade, esta relação permitiria não só encurtar o período do teste da bomba hidrostática, como também testar com mais frequência a resposta dos corpos à absorção.

Com isto em mente foram realizados alguns ensaios de validação (Figura 6.31), onde o modelo de regressão em cima determinado, Equação 6.4, foi aplicado e testado.

$$Absorção_{Esperada} = 0,04488 - 1,4806 Absorção_{m1-m2} \quad (6.4)$$

A comparação entre o modelo convencional e o modelo que se propõe utilizar foi feita graficamente, na tentativa de verificar a existência de linearidade entre as duas absorções apuradas.

Para os 5 ensaios realizados, dentro da gama de valores testados (18 a 51%), e para um intervalo de confiança de 95%, o modelo demonstrou adequar-se (valor-P < 0.000), explicando mais de 99% da variação dos dados em qualquer um dos casos.

Deste modo, é possível afirmar que nos encontramos na presença de um modelo viável do ponto de vista real, e com aplicação em contexto industrial, que permite estimar com a devida precisão a percentagem de absorção de uma rolha sem a necessidade de um teste que leva aproximadamente 60 horas para ser devidamente executado.

Assim, para além de se reduzir o tempo de obtenção dos resultados para 24 horas, torna-se possível testar em maior número, e ter um acompanhamento mais próximo do processo, o que se revela extremamente importante uma vez que o fenómeno de absorção das rolhas se encontra intimamente relacionado com a qualidade da aglomeração dos corpos.

No entanto, devido às normas aplicadas na indústria rolheira e aos requisitos do cliente, o método apenas poderá ser utilizado internamente. Continuando a ser executado o método tradicional sempre que for exigido.

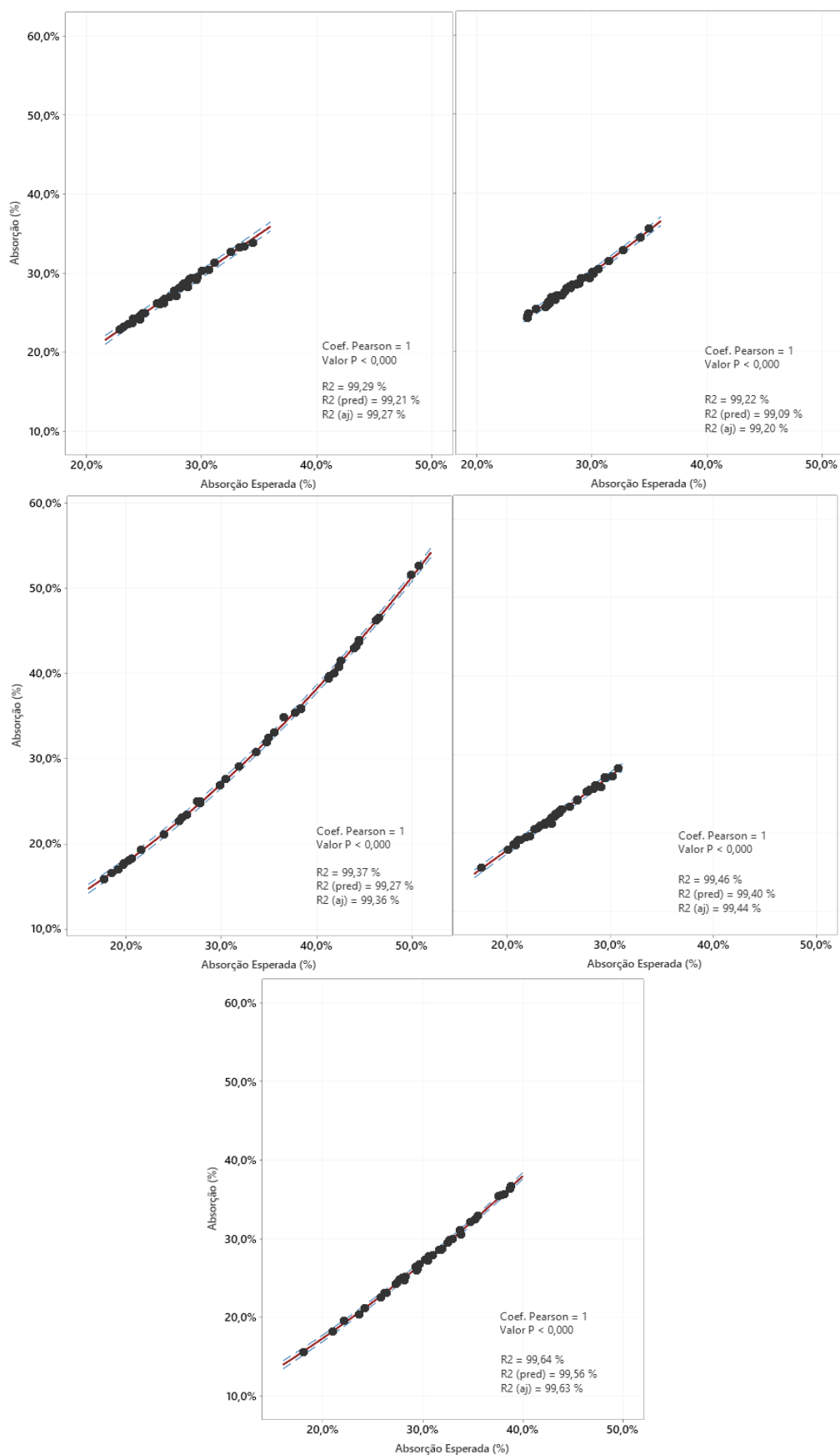


Figura 6.31 – Ensaio de Validação para o Método Expedito da Bomba Hidrostática



As Conclusões

Corpos com percentagens de absorção elevadas são um indicador de uma aglomeração pouco eficiente, e constituem uma questão grave para a empresa, podendo mais tarde refletir-se em problemas de performance mecânica e física na rolha, o que compromete a sua qualidade enquanto vedante e pode originar reclamações por parte do cliente.

A Análise dos Efeitos Principais para os dados históricos do Testa da Bomba Hidrostática, permitiu determinar que os fatores que maioritariamente afetam a percentagem de absorção dos corpos são: a percentagem de humidade do granulado, o tipo de látex utilizado, a temperatura ambiente e o nível de parafina empregue na mistura.

A Análise dos Modos de Falha e Efeitos possibilitou identificar as causas que mereciam especial atenção, estando as mesmas diretamente relacionadas com os ramos “Máquina” e “Método”.

Embora, as médias das temperaturas dos fornos respeitem os limites de especificação ($115 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$), determinou-se que o processo não se encontrava dentro de controlo estatístico, e que as temperaturas diferiam significativamente não só entre as 2 linhas, mas também de máquina para máquina. Como solução, foi criada uma norma que estabelece a regularidade e o procedimento do controlo. Foi ainda sugerido uniformizar os controladores de temperatura, adotando o mesmo modelo para todos os fornos; e a automação da verificação deste parâmetro, dado que a mesma admitiria uma monitorização contínua, uma deteção de desvios em tempo real, e uma atuação mais eficaz sobre os mesmos.

Relativamente ao crescimento do bastão, os dados apurados para a linha 4 apresentam o centro de distribuição mais próximo do valor ideal, enquanto que na linha 3, o grosso das observações tende a estar associado a valores superiores ao limite de especificação. Para esta linha, foi ainda possível evidenciar a diferença estatisticamente significativa, no crescimento médio do bastão, entre os lados A e B das máquinas, que mais tarde foi relacionada com a discrepância na distribuição da mistura entre os 2 lados da caixa.

Da verificação do doseamento dos produtos químicos, aferiu-se a eficácia da alteração do sistema de pesagem na linha 4, dado que, para qualquer um dos produtos adicionados à mistura, os desvios apurados foram menores que os da linha 3. Para reduzir a incidência deste problema, foi sugerida a implementação do sistema de pesagem individual por misturadora nas restantes linhas, e procedeu-se a reestruturação da norma existente, onde se optou por reduzir o número de controlos efetuados por turno, e assegurar que os que estavam estipulados eram efetivamente realizados.

A simulação da reação de reticulação da cola em laboratório permitiu concluir que:

- A temperatura do forno e o tempo de residência no mesmo encontram-se intimamente relacionados, sendo que na presença de temperaturas mais baixas, períodos de residência no forno alargados são necessários para assegurar a aglomeração correta dos grânulos de cortiça, e vice-versa;
- A combinação dos 115 °C com os 15 minutos, foi a que evidenciou a presença de uma reação mais completa, o que vai de encontro às especificações atualmente aplicadas no processo de extrusão;
- Na presença de quantidades de látex superiores às pretendidas, a aglomeração dos corpos fica comprometida. O aumento da percentagem de água na composição da mistura, induzido pelo excesso de látex, reduz o tempo de reticulação da cola, criando o risco de a mesma ocorrer antes da mistura ser forçada a entrar nos tubos das máquinas extrusoras.

A caracterização da desagregação dos corpos demonstrou que, apenas na linha 3, as diferenças entre os valores de absorção obtidos, para os lados A e B da linha, diferem estatisticamente. Apurou-se ainda, que quanto mais massivo for o corpo, maior serão as suas dimensões, e maior será a sua massa volúmica; e determinou-se a existência de

uma correlação, forte e positiva, entre a temperatura dos fornos e a percentagem de absorção dos corpos extrudidos.

O fenómeno de desaglomeração foi relacionado com a percentagem de absorção dos corpos e com a existência de períodos de caixa sem mistura, tendo-se chegado à conclusão de que os mesmos eram os principais responsáveis pela problemática em estudo. É a partir dos 45 minutos de caixa sem mistura que a absorção média ultrapassa o limite superior de especificação (os 36%), no entanto os 15 minutos de caixa sem mistura revelaram-se suficientes para a desagregação dos corpos ser visualmente perceptível.

A existência de períodos de caixa sem mistura foi maioritariamente relacionada com a distribuição pouco homogénea da mistura nas caixas, o posicionamento das sondas de alimentação, o funcionamento do carrinho de abastecimento e as condições de elaboração das misturas.

A simulação da alimentação das linhas em Excel foi crucial para o trabalho desenvolvido, pois permitiu constatar que o número de misturas produzido por turno não era suficiente para suprimir as necessidades de consumo da linha, isto porque o intervalo de tempo entre 2 misturas consecutivas era demasiado elevado. Para resolver esta questão, foi sugerido automatizar as linhas de extrusão, de modo a que a produção de uma nova mistura se inicie no momento em que se dá a descarga da anterior para o tegão.

Concluiu-se que a percentagem de absorção das rolhas diminui à medida que se avança no processo, e evidenciou-se uma relação entre as variáveis tempo de estabilização e percentagem de absorção das rolhas.

Foi ainda possível determinar um modelo, que permite estimar a percentagem de absorção de uma rolha mais rapidamente do que o método tradicional. Assim, torna-se possível testar em maior número e ter um acompanhamento mais próximo do processo, o que se revela extremamente importante uma vez que o fenómeno de absorção das rolhas se encontra intimamente relacionado com a qualidade da aglomeração dos corpos.



Sugestões para Trabalhos Futuros

Influência da Origem do Granulado na Absorção dos Corpos

Seria interessante conduzir um estudo que associasse as condições a que o granulado é submetido, à capacidade de absorção demonstrada pelas rolhas.

Uma vez que, durante a análise dos efeitos principais para o teste da bomba hidrostática, os resultados obtidos sugeriram a existência de uma relação entre a absorção dos corpos e a origem do granulado utilizado na sua produção. No entanto, devido à heterogeneidade dos dados disponíveis, não foi possível concluir muito sobre o assunto.

Influência da Granulometria na Absorção dos Corpos

A presença de um excesso de grânulos de maiores dimensões pode conduzir a uma diminuição da percentagem de cola nos corpos, e consequentemente comprometer a aglomeração dos mesmos.

Aquando a caracterização da desagregação dos corpos nas linhas, através do teste da bomba hidrostática, a grande parte dos corpos com percentagens de absorção elevadas, para além de exibir espaços vazios entre os grânulos de cortiça, apresentava grânulos de maiores dimensões que os restantes.

Assim, a redução na variabilidade da distribuição do tamanho dos grânulos de cortiça aparenta ser benéfica, e como tal relevante estudar.

Caracterização dos Produtos Químicos Utilizados

Na presente dissertação, determinou-se a existência de qualidades produtos químicos, que quando utilizados, potenciavam a migração de líquidos nas rolhas.

Contudo, a análise focou-se apenas no tipo de produto e não nas suas características. Para obter mais informações sobre o como e o porquê de a situação ocorrer, seria necessário estudar outros aspetos dos produtos mencionados, nomeadamente a taxa de reticulação, no caso da cola, entre outros.

Estudo da Adição de Água na Mistura

Um dos passos limitantes na produção de rolhas aglomeradas, corresponde à ligação estabelecida entre o adesivo e a superfície da cortiça, sendo a mesma diretamente influenciada pela percentagem de água presente no sistema.

Neste trabalho evidenciou-se a existência de uma relação entre a percentagem de água contida no látex e a reticulação da cola.

Investigar e adequar a adição de água de acordo com o tipo de granulado utilizado, e contabilizando a humidade previamente adicionada pelo látex, poderia melhorar a polimerização da cola, o que se refletiria numa maior qualidade dos corpos extrudidos.

Método Expedito para o Teste da Bomba Hidrostática

O método apresentado na dissertação foi apenas testado nas linhas 3 e 4 da extrusão AGLO.

Sugere-se a realização de ensaios, para perceber se o modelo pode ser aplicado às restantes linhas, e a determinação de um novo modelo, caso o atual não se adeque.

Referências Bibliográficas

- AIAG. (2008). *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual* (4ª ed.). [s.l]: Chrysler LLC, Ford Motor Company and General Motors Corporation.
- Amorim, C. (2011). *Manual Técnico Rolhas*. Obtido em 2020, de https://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Manual_Rolhas_PT.pdf
- Amorim, C. (2012). *About Cork*. Obtido em 2020, de https://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Aboutcork_2_Ir.pdf
- Amorim, C. (2014). *A Arte da Cortiça*. Obtido em 2020, de https://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Brochura_Arte_Cortica_PT_Small.pdf
- Amorim, C. (2018). *About Cork Stoppers*. Obtido em 2020, de https://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/About_cork_stoppers_final_LR.pdf
- Amorim, C. (2019). *Relatório Anual Consolidado 2018*. Obtido em 2020, de https://www.amorim.com/xms/files/Investidores/5_Relatorio_e_Contas/relatorio_contas_2018_web.pdf
- Amorim, C. (2020). Obtido em 2020, de <https://www.amorim.com/>
- Amorim, C. (2020). *Press Release: Resultados Líquidos Atingem 75 milhões de euros*. Obtido em 2020, de https://www.amorim.com/xms/files/Investidores/7_Comunicados/20200309CorticeiraAmorimExercicio2019.pdf
- Amorim, C. (2020). *Relatório Anual Consolidado 2019*. Obtido em 2020, de https://www.amorim.com/xms/files/Investidores/5_Relatorio_e_Contas/Amorim_RC_21Mai_web.pdf
- APCOR. (2020). Obtido em 2020, de <https://www.apcor.pt/>

- APCOR. (2020). *Boletim Estatístico 2019/2020*. Obtido em 2020, de https://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2019/12/boletim_estatistico_apcor_2019.pdf
- Arnold, R., Nelson, J., & Verbanc, J. (1957). Recent Advances in Isocyanate Chemistry. *Chemical Review*, 57, pp. 47-76.
- Ashida, K. (2006). *Polyurethane and Related Foams: Chemistry and Technology* (1 ed.). Florida: CRC Press.
- Cangemi, J. M., Santos, A. M., & Neto, S. C. (2009). Poliuretano: Um Polímero Versátil. *Química e Sociedade*, 31(3), pp. 159-164.
- Castro, F. (9 de Janeiro de 2020). "De uma pequena oficina a Corticeira Amorim fez-se gigante em 150 anos". Obtido em 2020, de ECO: <https://eco.sapo.pt/2020/01/09/de-uma-pequena-oficina-corticeira-amorim-fez-se-gigante-em-150-anos/>
- CELIÉGE, EUROPEAN CORK FEDERATION. (2020). *Código Internacional das Práticas Rolheiras*. Versão 6.03.
- Chelak, W., & Newman, W. (1991). MDI high moisture content bonding mechanism, parameters, and benefits using MDI in composite wood products. *International Particleboard/Composite*, 32, pp. 205-229.
- Coutinho, F. M. (1999). Poliuretanos como Materiais de Revestimento de Superfície. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 9(1), pp. 41-48.
doi:<https://doi.org/10.1590/S0104-14281999000100006>
- Crouvisier-Urien, K., Bellat, J.-P., Gougeon, R. D., & Karbowiak, T. (2018). Mechanical properties of agglomerated cork stoppers for sparkling wines: Influence of adhesive and cork particle size. *Composite Structures*, 203, pp. 789-796.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.06.116>.
- Forrest, M. (1999). *Chemical Characterisation of Polyurethanes* (Vol. 9). [s.l]: Rapra Technology Limited.

- Fraizer, C., & Das, S. (2005). Wood/Polymeric Isocyanate Resin Interactions: Species dependence. *Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University*. Virginia .
- Frisch, K. (2001). *Advances in Urethane Science and Technology*. [s.l]: Rapra Technology Limited.
- Gibson, L. J., & Ashby, M. F. (2001). *Cellular Solids. Structure and Properties* (2ª ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gil, L. (1998). *Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação*. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisboa.
- Gil, L. (2007). *A Cortiça como Material de Construção - Manual Técnico*. Obtido em 2020, de <https://www.apcor.pt/portfolio-posts/a-cortica-como-material-de-construcao-manual-tecnico/>
- Gil, L. (2012). Cortiça. Em *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção* (12ª ed., pp. 663-715). Lisboa: IST - Instituto Superior Técnico.
- Harper, D. P., Wolcott, M. P., & Timothy, R. G. (2011). Evaluation of the cure kinetics of the wood/pMDI bondline. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 21 (2), pp. 137-144.
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas - ICNF. (2020). Obtido em 2020, de <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/gf/prdflo/mont/qual-defeit>
- Júlio, S. (2016). Avaliação de Variáveis que Influenciam o Processo de Aglomeração de Rolhas Técnicas de Cortiça. Dissertação de Mestrado, Departamento de Química, FCT NOVA.
- Kanji, G. (2006). *100 STATISTICAL TESTS* (3 ed.). Londres: SAGE Publications Ltd.
- Kloss, J. R. (2007). Síntese e Caracterização de Poliuretanos Biodegradáveis. *Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Paraná*. Curitiba.
- Lagorce-Tachon, A., Karbowiak, T., Loupiac, C., Gaudry, A., Ott, F., Alba-Simionesco, C., . . . Bellat, J.-P. (2015). The cork viewed from the inside. 149, pp. 214-221. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.023>

- Liese, W. (1983). Alterações biológicas da qualidade da cortiça que afectam a sua utilização. *541*, pp. 277-299.
- Macoratti, J. C. (2020). *VB - Calculando Combinações, Permutações e Fatorial de um número*. Obtido em 2020, de http://www.macoratti.net/11/08/vb_comb1.htm
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2009). *The Basic of FMEA*. New York: CRC Press.
- Moreira, L., Costa, V., & Neto da Silva, F. (2015). Effect of moisture content on curing kinetics of agglomerated cork. *Materials & Design*, *82*, pp. 312-316. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.01.001>.
- Natividade, J. V. (1934). *Cortiças: Contribuição para o estudo do melhoramento da qualidade*. Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Alcobaça.
- Natividade, J. V. (1950). *Subericultura* (2ª ed.). Lisboa: Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação - Direcção Geral das Florestas.
- Pereira, H. (2007). *Cork: Biology, Production and Uses* (1ª ed.). [s.l]: Elsevier Science.
- Pereira, Z. L., & Requeijo, J. G. (2012). *Planeamento e Controlo Estatístico de Processos* (2ª ed.). Campus de Caparica: Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- Rosa, M., & Fortes, M. (1988). Densidade da cortiça: factores que a influenciam. *CORTICA - BOLETIM DO IPF*, *593*, pp. 65-68.
- Rosa, M., & Fortes, M. (Janeiro de 1993). Water Absorption by Cork. *WOOD AND FIBER SCIENCE*, *25*(4), pp. 339-348.
- S. P. Silva, M. A. Sabino, E. M. Fernandes, V. M. Correlo, L. F. Boesel, & R. L. Reis. (2005). Cork: Properties, capabilities and applications. *International Materials Review*, *50*(6), pp. 345-365. doi:10.1179/174328005x41168
- Santos, C. (2007). *Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Sharmin, E., & Zafar, F. (Agosto de 2012). *Polyurethane: An Introduction*. London: IntechOpen. doi:10.5772/51663

- Silva, D. d., Bordado, J., & Martínez, M. (2007). Use of Isoconversional methods to analyze the cure kinetics of isocyanate-ended quasi-prepolymers with water. *Journal of Applied Polymer Science* , 104(2), pp. 1049-1057.
doi:10.1002/app.24914
- Six, T., & Feigenbaum, A. (2003). Mechanism of migration from agglomerated cork stoppers. Part 2: Safety assessment criteria of agglomerated cork stoppers for champagne wine cork producers, for users and for control laboratories. *Food Additives and Contaminants*, 20(10), pp. 960-971.
doi:10.1080/02652030310001597583
- Vilar, W. D. (1998). *Química e tecnologia dos poliuretanos*. [s.l]: Vilar Consultoria.

Anexos

Anexo A – Dados Referentes aos Estudos Realizados

Neste anexo são expostos os dados recolhidos e utilizados, nas análises/estudos realizadas(os), durante a elaboração da presente dissertação.

A.1. Análise das Condições Operatórias

A Tabela A1 resume as temperaturas apuradas, durante o período de estágio, para os fornos das máquinas extrusoras da Linha 3 da extrusão AGLO, e a Tabela A2 as temperaturas apuradas para os fornos das máquinas extrusoras na Linha 4 da extrusão AGLO.

Tabela A1 – Dados Temperaturas Apuradas para os Fornos das Máquinas da Linha 3 AGLO

Máquina	Temperatura Sonda (°C)				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Desvio Set-Point
1	118,4	116,9	120,8	1,1	3,4
2	115,3	113,1	119,4	1,5	1,2
3	116,0	113,7	122,7	2,0	1,5
4	115,9	114,3	118,3	0,9	0,9
5	115,4	102,1	126,3	8,2	7,7
6	109,7	88,3	139,1	13,4	12,5
7	118,0	98,0	142,9	11,9	9,2
8	113,4	97,4	132,2	9,6	8,1
n	192				

Tabela A2 - Dados Temperaturas Apuradas para os Fornos das Máquinas da Linha 4 AGLO

Máquina	Temperatura Sonda (°C)				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Desvio Set-Point
1	117,9	116,0	121,0	0,9	2,9
2	117,7	110,6	120,7	2,1	3,1
3	124,0	112,0	130,6	5,9	9,7
4	114,5	109,6	117,4	2,3	1,5
5	115,1	112,0	121,0	2,5	1,9
6	117,7	113,6	125,7	2,7	3,0
7	116,6	110,6	123,9	3,7	3,0
8	115,2	112,5	117,8	1,5	1,3
n	192				

A Tabela A3 resume os crescimentos de bastão determinados, durante o período de estágio, para as máquinas extrusoras que constituem a Linha 3 da extrusão AGLO, e a Tabela A4 os crescimentos de bastão determinados para máquinas extrusoras que constituem a Linha 4 da extrusão AGLO.

Tabela A3 - Dados Crescimentos de Bastão Apurados para as Máquinas da Linha 3 AGLO

Crescimento Bastão (cm/min)				
Máquina	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1	3,4	2,3	5,5	0,6
2	3,5	2,9	4,6	0,3
3	3,3	2,5	3,9	0,3
4	3,6	2,2	4,2	0,3
5	3,4	1,3	4,5	0,5
6	3,2	2,3	4,0	0,3
7	3,7	3,1	4,3	0,3
8	3,4	2,8	4,2	0,2
n	720			

Tabela A4 – Dados Crescimentos de Bastão Apurados para as Máquinas da Linha 4 AGLO

Crescimento Bastão (cm/min)				
Máquina	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1	3,7	3,0	4,8	0,4
2	3,4	2,7	4,1	0,3
3	3,5	2,8	4,4	0,4
4	3,2	2,5	4,2	0,3
5	2,1	0,7	3,3	0,8
6	2,7	0,0	4,3	1,0
7	3,3	2,6	4,0	0,3
8	3,1	2,4	3,7	0,3
n	720			

A.2. Verificação do Doseamento dos Produtos

A Tabela A5 resume os desvios aferidos no momento da adição dos produtos químicos, durante a elaboração das misturas, nas Linhas 3 e 4 da extrusão AGLO.

Tabela A5 – Dados Verificação Doseamento dos Produtos Químicos nas Linhas 3 e 4 AGLO

			Erro (%)			
		n	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Linha 3	Cola	46	2,6%	7,3%	0,9%	1,8%
	Látex		31,1%	49,3%	23,2%	6,9%
	Parafina		14,9%	27,5%	5,8%	5,7%
Linha 4	Cola	71	-2,8%	-0,6%	-7,0%	1,8%
	Látex		10,2%	17,9%	3,2%	4,0%
	Parafina		6,8%	15,4%	1,0%	4,3%

A.3. Caracterização Absorção Linhas 3 e 4

Para caracterizar a absorção nas Linhas 3 e 4 da extrusão AGLO, foram utilizados os valores apresentados nas Tabelas A6 e A7, respectivamente.

Tabela A6 – Dados Caracterização Absorção Linha 3 AGLO

Máquina	Lado	n	Absorção (%)	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Massa (g)	MV (kg/m³)
1	A	5	26,1%	48,9	29,6	8,6	256,5
2		5	25,9%	49,9	29,6	8,9	259,7
3		5	26,4%	50,2	29,6	9,2	265,4
4		5	26,2%	49,5	29,6	8,8	259,3
5		5	31,6%	49,5	29,6	8,7	256,6
6		5	24,5%	50,0	29,6	9,2	265,6
7		5	32,1%	49,7	29,6	8,3	241,2
8		5	29,8%	50,0	29,6	8,7	252,5
1	B	5	27,0%	49,9	29,6	9,0	261,4
2		5	25,8%	51,6	29,6	9,2	258,8
3		5	24,2%	49,3	29,6	8,9	262,7
4		5	25,3%	50,0	29,6	9,1	263,7
5		5	27,3%	50,1	29,6	8,9	256,9
6		5	28,1%	50,4	29,6	8,7	252,3
7		5	26,4%	50,2	29,6	8,6	250,3
8		5	27,0%	50,0	29,6	9,0	262,5

Tabela A7 - Dados Caracterização Absorção Linha 4 AGLO

Máquina	Lado	n	Absorção (%)	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Massa (g)	MV (kg/m³)
1	A	5	27,5%	50,0	29,6	9,0	260,8
2		5	26,7%	50,5	29,6	9,0	258,6
3		5	27,9%	50,6	29,6	8,9	255,8
4		5	27,8%	49,5	29,6	8,9	262,2
5		5	26,6%	48,9	29,6	8,9	265,8
6		5	28,1%	50,3	29,6	9,0	258,4
7		5	26,2%	49,8	29,6	8,9	260,3
8		5	27,2%	50,6	29,6	9,2	263,9
1	B	5	28,5%	50,0	29,6	9,1	263,8
2		5	26,9%	49,5	29,6	8,8	260,4
3		5	27,4%	50,6	29,6	8,9	256,6
4		5	32,1%	50,3	29,6	9,4	270,1
5		5	30,7%	50,6	29,6	9,5	271,5
6		5	29,2%	50,7	29,6	9,5	272,5
7		5	27,5%	50,6	29,6	9,4	269,4
8		5	24,0%	49,2	29,6	9,0	266,2

Para relacionar a temperatura dos fornos com os valores de absorção apresentados pelos corpos extrudidos na Linha 3, foram utilizados os dados da Tabela A8, e para os corpos extrudidos na Linha 4, foram utilizados os dados da Tabela A9.

Tabela A8 – Dados Caracterização da Absorção em Função da Temperatura dos Fornos Linha 3 AGLO

Máquina	Lado	n	Temperatura Média (°C)	Absorção Média (%)
1	A	5	119,2	26,4%
	B	5	117,4	26,4%
2	A	5	115,8	25,3%
	B	5	115,4	24,5%
3	A	5	115,6	25,9%
	B	5	116,0	25,8%
4	A	5	116,4	26,1%
	B	5	117,0	26,2%
5	A	5	121,4	27,0%
	B	5	123,8	27,3%
6	A	5	112,9	24,2%
	B	5	136,4	31,6%
7	A	5	141,5	32,1%
	B	5	126,1	28,1%
8	A	5	129,1	29,8%
	B	5	123,4	27,0%

Tabela A9 - Dados Caracterização da Absorção em Função da Temperatura dos Fornos Linha 4 AGLO

Máquina	Lado	n	Temperatura Média (°C)	Absorção Média (%)
1	A	5	117,5	27,8%
	B	5	118,1	28,1%
2	A	5	118,7	29,2%
	B	5	118,1	28,5%
3	A	5	125,1	30,7%
	B	5	126,3	32,1%
4	A	5	113,2	24,0%
	B	5	116,7	27,5%
5	A	5	116,1	27,4%
	B	5	113,8	26,2%
6	A	5	117,4	27,5%
	B	5	116,0	27,2%
7	A	5	117,8	27,9%
	B	5	115,6	26,9%
8	A	5	114,8	26,7%
	B	5	114,1	26,6%

A.4. Problemas Identificados nas Linhas de Extrusão

A tendência da distribuição da mistura, no interior das caixas que constituem a Linha 3 da extrusão AGLO, é representada na Tabela A10, enquanto que a Tabela A11, ilustra a tendência da distribuição da mistura, no interior das caixas que constituem a Linha 4 da extrusão AGLO

Tabela A10 - Dados Distribuição da Mistura nas Caixas Linha 3 AGLO

Máquina	n	Média Lado A (%)	Média Lado B (%)	Média Total (Kg)
1	2	54%	46%	19
2	2	55%	45%	27
3	2	55%	45%	27
4	2	54%	46%	19
5	2	43%	57%	22
6	2	56%	44%	21
7	2	54%	46%	21
8	2	58%	42%	26

Tabela A11 - Dados Distribuição da Mistura nas Caixas Linha 4 AGLO

Máquina	n	Média Lado A (%)	Média Lado B (%)	Média Total (Kg)
1	2	49%	51%	13
2	2	51%	49%	15
3	2	50%	50%	14
4	2	51%	49%	13
5	2	50%	50%	14
6	2	49%	51%	15
7	2	51%	49%	14
8	2	52%	48%	15

Os intervalos de tempo entre abastecimentos consecutivos, apurados para as linhas 3 e 4 da extrusão AGLO, encontram-se representados nas Tabelas A12 e A13, respetivamente. Já os dados recolhidos e referentes ao intervalo de tempo que decorre entre duas misturas sucessivas, são exibidos na Tabela A14.

Os intervalos de tempo de caixa sem mistura observados para Linha 3 são retratados na Tabela A15, enquanto que os da Linha 4 são apresentados na Tabela A16.

A informação recolhida, e referente às sondas de alimentação de ambas as linhas em estudo, é apresentada na Tabela A17.

Tabela A12 - Dados Intervalo de Tempo entre Abastecimentos Consecutivos Linha 3 AGLO

Máquina	n	Δt entre abastecimentos			
		Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
1	10	00:22:00	00:50:42	01:30:00	00:20:08
2	11	00:35:00	00:52:16	01:25:00	00:18:42
3	8	00:26:00	00:54:37	01:34:00	00:24:18
4	12	00:08:00	00:42:05	01:26:00	00:23:19
5	9	00:16:00	00:57:53	01:33:00	00:27:03
6	11	00:29:00	00:52:11	01:31:00	00:19:52
7	8	00:40:00	00:57:23	01:25:00	00:17:10
8	10	00:28:00	00:49:18	01:22:00	00:14:35

Tabela A13 - Dados Intervalo de Tempo entre Abastecimentos Consecutivos Linha 4 AGLO

Máquina	n	Δt entre abastecimentos			
		Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
1	7	00:06:00	00:27:43	00:59:00	00:16:55
2	9	00:19:00	00:34:13	00:54:00	00:10:22
3	8	00:11:00	00:29:38	00:46:00	00:13:33
4	6	00:15:00	00:35:00	00:47:00	00:11:39
5	5	00:12:00	00:46:36	01:16:00	00:25:54
6	6	00:27:00	00:55:20	01:24:00	00:21:46
7	6	00:06:00	00:43:00	01:12:00	00:22:04
8	9	00:05:00	00:30:27	00:49:00	00:14:18

Tabela A14 - Dados Intervalos de Tempo entre Misturas Consecutivas Linhas 3 e 4 AGLO

Linha	Tempo 1	Tempo 2	Intervalo Entre Misturas
3	09:48:00	10:05:00	00:17:00
4	09:52:00	10:22:00	00:30:00
3	10:05:00	10:40:00	00:35:00
4	10:22:00	10:44:00	00:22:00
3	10:40:00	11:36:00	00:56:00
4	10:44:00	11:39:00	00:55:00
3	11:36:00	12:02:00	00:26:00
4	11:39:00	12:02:00	00:23:00
4	12:02:00	13:22:00	01:20:00
3	13:52:00	14:08:00	00:16:00
4	14:03:00	14:31:00	00:28:00
3	14:08:00	14:41:00	00:33:00
4	14:31:00	14:54:00	00:23:00
3	14:41:00	15:08:00	00:27:00
4	14:54:00	15:12:00	00:18:00
3	15:08:00	15:30:00	00:22:00
4	15:12:00	15:54:00	00:42:00
3	15:30:00	15:51:00	00:21:00
3	09:31:00	09:51:00	00:20:00
3	09:51:00	10:11:00	00:20:00
3	10:11:00	10:38:00	00:27:00
3	11:41:00	12:18:00	00:37:00

Tabela A15 - Dados Intervalo de Tempo de Caixa sem Mistura Linha 3 AGLO

Δt Caixa sem Mistura					
Máquina	n	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
1	4	00:22:00	00:32:30	00:41:00	00:07:56
2	6	00:03:00	00:39:30	01:22:00	00:25:43
3	3	00:14:00	00:24:20	00:33:00	00:09:37
4	7	00:08:00	00:28:51	00:57:00	00:17:34
5	3	00:35:00	00:36:40	00:39:00	00:02:05
6	5	00:29:00	00:47:36	01:30:00	00:24:44
7	7	00:20:00	00:46:26	01:10:00	00:14:31
8	9	00:24:00	00:44:40	01:22:00	00:18:56

Tabela A16 - Dados Intervalo de Tempo de Caixa sem Mistura Linha 4 AGLO

Δt Caixa sem Mistura					
Máquina	n	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
1	6	00:16:00	00:28:30	00:42:00	00:09:40
2	8	00:26:00	00:33:45	00:44:00	00:05:48
3	6	00:01:00	00:32:20	00:48:00	00:18:24
4	6	00:02:00	00:22:40	00:45:00	00:18:35
5	7	00:05:00	00:36:17	01:16:00	00:24:01
6	7	00:01:00	00:28:17	00:52:00	00:20:10
7	7	00:03:00	00:29:51	00:52:00	00:19:08
8	10	00:05:00	00:27:12	00:48:00	00:13:45

Tabela A17 - Dados Referentes às Sondas de Alimentação das Linhas 3 e 4 AGLO

Linha	Máquina	Posição Sonda	Comprimento Sonda (cm)	Posicionamento da Sonda (cm)
3	1	B	9	5
	2		9	6
	3		8	5
	4		8	4
	5		9	6
	6		9	6
	7		10	6
	8		9	6
4	1	A	12	3
	2		11	4
	3		12	3
	4		11	4
	5		11	4
	6		11	2
	7		12	4
	8		11	10

A.5. Ensaio Caixas sem Mistura

A Tabela A18 resume as condições utilizadas no ensaio das caixas sem mistura, assim como os resultados obtidos.

Tabela A18 – Dados Ensaio de Caixas sem Misturas nas Linhas 3 e 4 AGLO

		Δt Caixa sem Mistura	n	Média Absorção (%)	Máximo Absorção (%)	Mínimo Absorção (%)	Desvio Padrão (%)
Ensaio 1	L3	0:15:00	10	22%	28%	17%	4%
		0:30:00	10	28%	33%	24%	3%
		0:45:00	10	38%	41%	32%	3%
		1:15:00	10	46%	57%	35%	7%
	L4	0:15:00	10	24%	31%	12%	6%
		0:30:00	10	30%	39%	20%	6%
		0:45:00	10	37%	44%	30%	4%
		1:15:00	10	43%	53%	31%	7%
Ensaio 2	L3	0:15:00	10	21%	26%	18%	2%
		0:30:00	10	26%	34%	22%	4%
		0:45:00	10	36%	41%	30%	4%
		1:15:00	10	44%	49%	39%	4%
	L4	0:15:00	10	23%	27%	16%	3%
		0:30:00	10	28%	33%	23%	3%
		0:45:00	10	35%	40%	30%	3%
		1:15:00	10	41%	55%	33%	7%
Ensaio 3	L3	0:15:00	10	21%	25%	17%	3%
		0:30:00	10	28%	34%	23%	3%
		0:45:00	10	38%	42%	32%	3%
		1:15:00	10	45%	50%	41%	3%
	L4	0:15:00	10	23%	33%	13%	7%
		0:30:00	10	28%	31%	26%	2%
		0:45:00	10	36%	39%	31%	3%
		1:15:00	10	42%	44%	40%	2%

Na Tabela A19 são apresentados os resultados da escolha eletrônica efetuada em alguns dos corpos extrudidos durante o ensaio das caixas sem mistura. Já na Figura A1, encontram-se alguns dos corpos resultantes do ensaio previamente mencionado, assim como as absorções por eles apresentadas no Teste da Bomba Hidrostática.

Tabela A19 - Dados Escolha Eletrônica após Ensaio Caixas sem Mistura

Δt caixa sem mistura	n	Rebaixe	Lenhas	Cliente
00:15:00	40	55%	0%	45%
00:30:00	40	60%	5%	35%
00:45:00	40	65%	5%	30%
01:15:00	40	75%	10%	15%

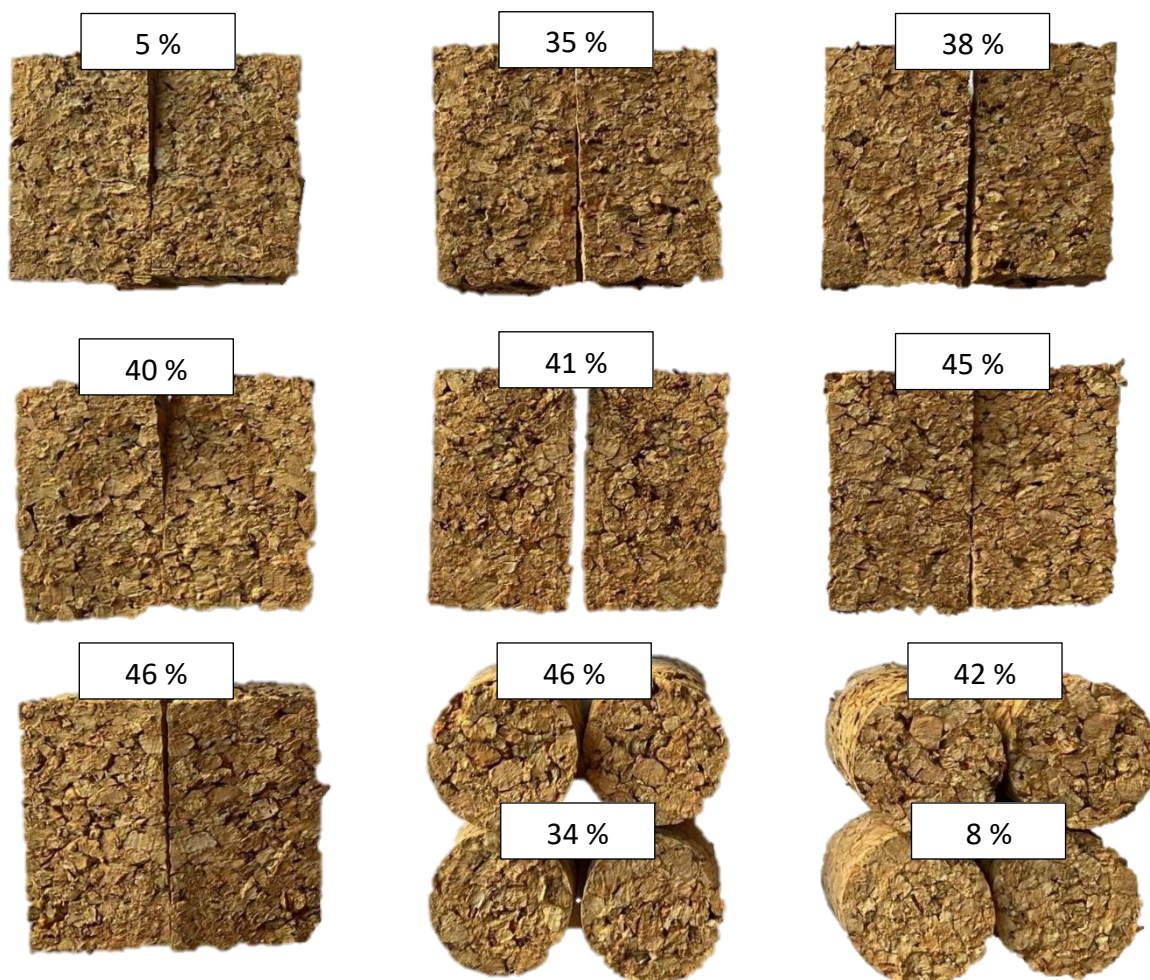


Figura A1 – Corpos/Rolhas Extrudidos(as) no Ensaio de Caixas sem Mistura e Respetiva % de Absorção

A.6. Evolução do Fenómeno de Absorção no Processo

Para cada uma das etapas do processo e para cada um dos tempos de estabilização estudados, a Tabela A20 exibe os valores médios correspondentes as características dos corpos recolhidos na linha 3 da extrusão AGLO, e utilizados no 1º ensaio realizado, assim como a percentagem de absorção média apresentada pelos mesmos no Teste da Bomba Hidrostática.

Tabela A20 - Dados 1º Ensaio do Estudo da Evolução do Fenómeno de Absorção no Processo

	Etapa	n	Valores Médios				
			Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Massa (g)	Massa Volúmica (kg/m³)	Absorção (%)
Sem Estabilização	Extrusão	50	29,4	49,9	9,4	276,6	22,6%
	Lavação	50	29,3	47,1	8,5	269,4	21,5%
	T. Superfície	50	29,3	47,1	8,6	271,0	18,9%
1 semana	Extrusão	50	29,2	48,0	9,4	280,1	26,4%
	Lavação	50	29,3	48,8	8,5	268,2	26,3%
	T. Superfície	50	29,2	47,0	8,5	270,6	21,2%
1 mês	Extrusão	50	29,2	49,4	9,2	279,7	21,9%
	Lavação	50	29,2	46,9	8,5	270,5	20,7%
	T. Superfície	50	29,2	46,9	8,5	271,1	17,8%
2 meses	Extrusão	50	29,2	46,9	9,3	280,9	20,3%
	Lavação	50	29,2	48,9	8,5	272,5	17,0%
	T. Superfície	50	29,2	46,9	8,5	270,4	16,1%

Por sua vez, a Tabela A21, para além de apresentar a média dos atributos dos corpos utilizados no 2º ensaio, e a média da percentagem de absorção associada aos mesmos, exhibe também a média da percentagem de humidade característica das amostras analisadas.

Tabela A21 - Dados 2º Ensaio do Estudo da Evolução do Fenómeno de Absorção no Processo

		Valores Médios							
	Etapa	n	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Massa (g)	Massa Volúmica (kg/m³)	Absorção (%)	Humidade (%)	n
Sem Estabilização	Extrusão	50	30,1	47,0	9,3	278,9	22,4%	5,8%	10
	Lavação	50	30,0	47,2	9,2	275,9	21,6%	5,5%	10
	T. Superfície	50	30,0	47,2	9,2	277,0	18,8%	5,2%	10
1 semana	Extrusão	50	29,9	46,6	9,2	281,6	23,6%	5,3%	10
	Lavação	50	29,8	47,1	9,2	279,6	22,0%	5,0%	10
	T. Superfície	50	29,8	47,0	9,1	277,6	19,0%	4,7%	10
1 mês	Extrusão	50	29,9	46,5	9,2	281,8	20,5%	4,6%	10
	Lavação	50	29,8	47,1	9,1	277,9	18,7%	4,2%	10
	T. Superfície	50	29,8	47,0	9,1	278,5	18,0%	4,1%	10
2 meses	Extrusão	50	29,9	46,5	9,2	283,4	19,8%	4,3%	10
	Lavação	50	29,9	46,6	9,2	283,3	18,5%	4,2%	10
	T. Superfície	50	29,8	47,0	9,2	279,4	16,7%	4,1%	10

Já a Figura A2 permite tecer considerações relativamente à relação existente entre a humidade das rolhas e a absorção por elas apresentada.

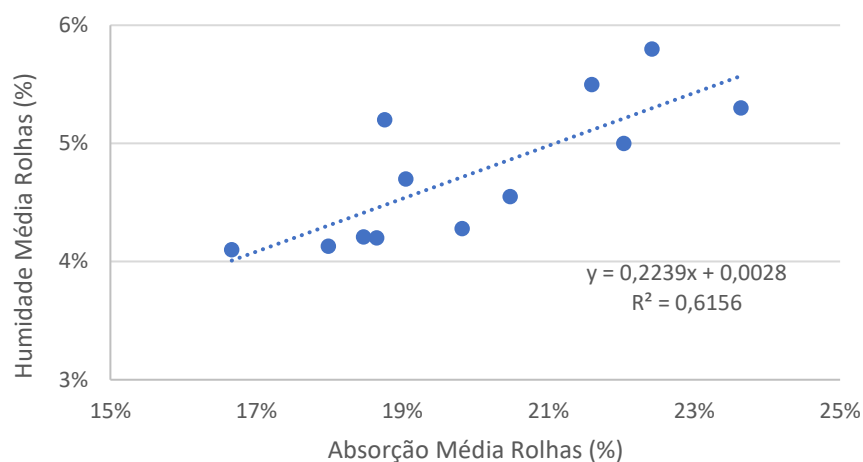


Figura A2 – Relação entre Humidade e Absorção das Rolhas para o Ensaio 2

A.7. Método Expedito para o Teste da Bomba Hidrostática

Tanto a Tabela A22 como a Figura A4, resumem os resultados obtidos nos ensaios de validação realizados para o método em estudo: o Método Expedito para o Teste da Bomba Hidrostática.

Tabela A22 – Resumos Dados dos Ensaios de Validação

Ensaio nº	n	Linha	Esperada		Real	
			Média Absorção (%)	Desvio Padrão (%)	Média Absorção (%)	Desvio Padrão (%)
1	40	4	27,5%	3,0%	27,4%	3,0%
2	40	4	28,1%	2,4%	28,1%	2,4%
3	40	3	33,1%	10,0%	31,2%	10,9%
4	40	3	24,9%	3,1%	22,5%	3,0%
5	40	3	30,3%	4,8%	27,4%	5,0%

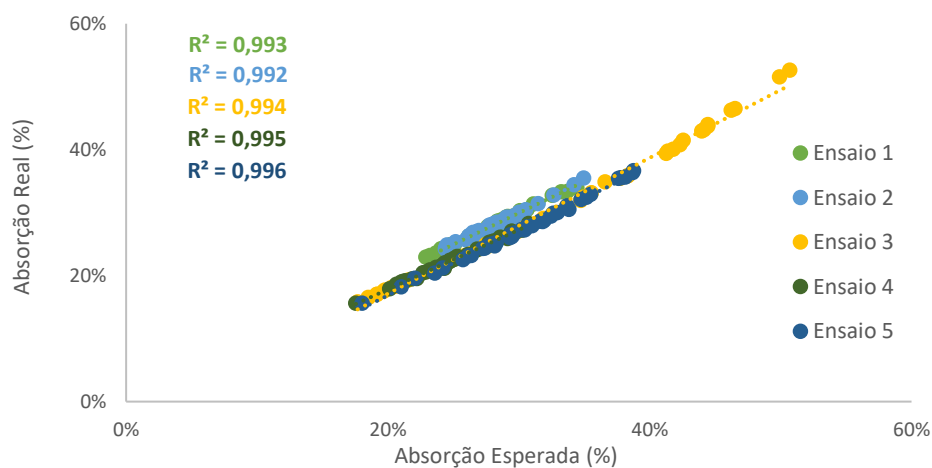


Figura A3 – Representação Gráfica dos Ensaios de Validação

Anexo B – Testes Estatísticos

B.1. Inferência Estatística: Testes de Hipótese

O teste de hipótese é um método de inferência estatística que permite verificar, a partir dos resultados obtidos para uma amostra, se uma determinada hipótese feita sobre uma população deve ou não ser rejeitada.

A hipótese que se pretende testar é a Hipótese Nula (H_0), a qual contém sempre a igualdade na sua formulação. Esta é considerada verdadeira, ao longo do teste, até que haja uma evidência estatística que a permita rejeitar. A possível rejeição, é baseada numa estatística de teste adequada ao caso em estudo.

A Hipótese Alternativa (H_1) é uma afirmação que constitui uma hipótese alternativa à Hipótese Nula, tal como o nome indica. A rejeição da Hipótese Nula reforça a validade da Hipótese Alternativa. É ainda de notar, que a Hipótese Alternativa contém sempre uma desigualdade na sua formulação, que vai determinar a natureza do teste realizado:

- Teste Bilateral (\neq);
- Teste Unilateral ($<$ ou $>$).

B.1.1. Comparação de duas Variâncias

Na presença de duas distribuições normais, com variâncias σ_1^2 e σ_2^2 , para se testar a hipótese de estas não serem significativamente diferentes, retiram-se duas amostras de dimensões n_1 e n_2 , calculam-se as variâncias amostrais S_1^2 e S_2^2 , e testam-se as hipóteses:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Sendo a estatística teste definida por:

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (\text{B.1})$$

E neste caso, a hipótese nula é rejeitada, para um determinado nível de significância (α) caso $F_0 > F_{(\alpha/2);(n1-1)(n2-1)}$ ou se $F_0 < F_{(1-\alpha/2);(n1-1)(n2-1)}$.

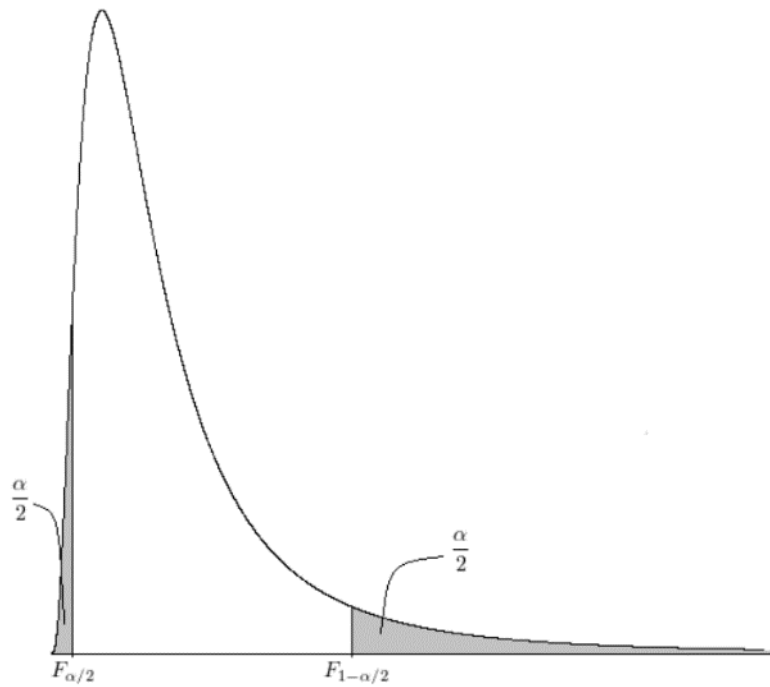


Figura B1 – Região Crítica Bilateral: Teste F [Adaptado de: (Kanji, 2006)]

B.1.2. Diferença de duas Médias

Na presença de duas distribuições normais e independentes, com médias iguais a μ_1 e μ_2 , para se testar a hipótese de estas não serem significativamente diferentes, definem-se as hipóteses:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

A estatística teste a utilizar depende do conhecimento do valor da variância da população. Caso o valor não seja conhecido, é necessário aferir sobre a diferença entre as variâncias amostrais através da análise da comparação de duas variâncias descrita anteriormente.

Caso a variância seja conhecida, a estatística teste a utilizar é definida por:

$$Z_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (\text{B.2})$$

Na expressão, \bar{X} representa as médias amostrais, e para o teste bilateral, a Hipótese Nula é rejeitada quando $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$.

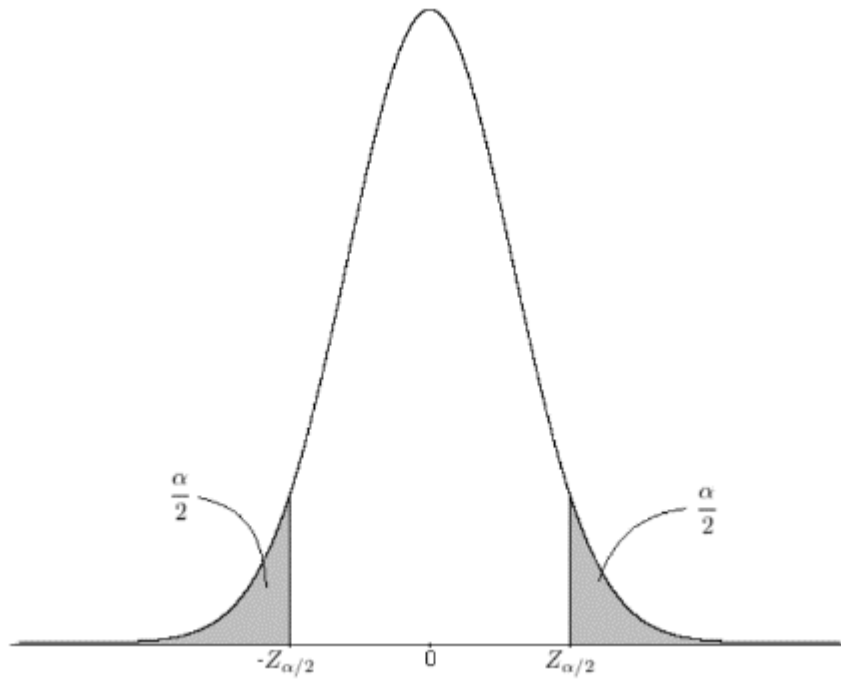


Figura B2 – Região Crítica Bilateral: Teste Z [Adaptado de: (Kanji, 2006)]

Por outro lado, se a variância for conhecida, a estatística teste é definida por:

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (\text{B.3})$$

Neste caso, e para uma vez mais para um teste bilateral, a Hipótese Nula é rejeitada quando $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}; g.l.}$ (onde g.l. representa os graus de liberdade).

Por outro lado, se a variância for desconhecida, e as variâncias amostrais não forem significativamente diferentes, é necessário calcular a variância combinada (S_p^2), através da expressão:

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2} \quad (\text{B.4})$$

A estatística teste passa a ser então dada por:

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (\text{B.5})$$

Passando a Hipótese Nula a ser rejeitada quando $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}; (n_1+n_2-2)}$.

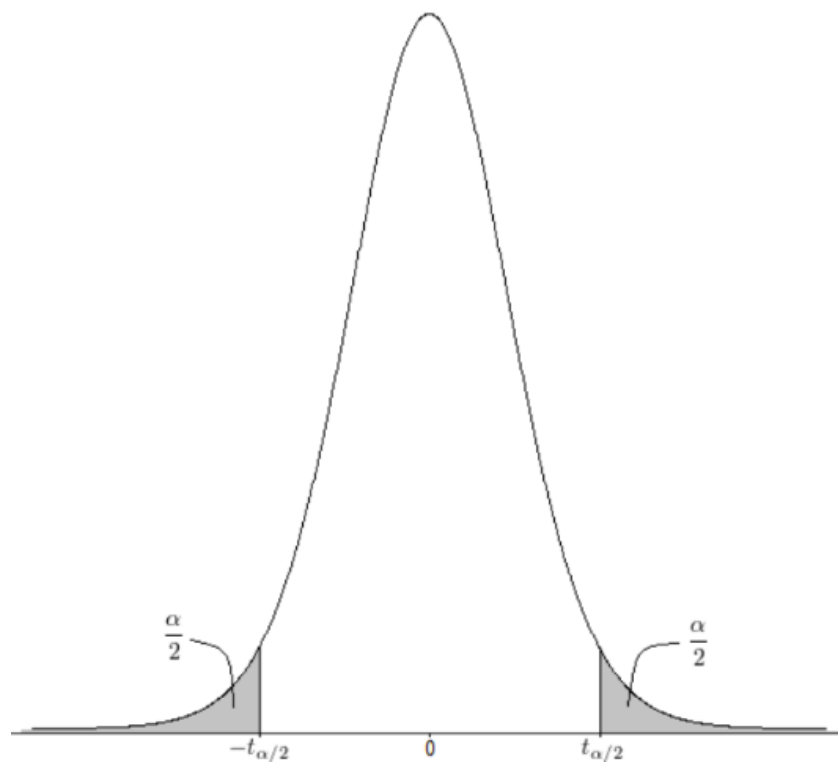


Figura B3 - Região Crítica Bilateral: Teste t [Adaptado de: (Kanji, 2006)]

B.2. Análise de Variância (ANOVA)

A Análise de Variância é uma técnica estatística que permite proceder à comparação entre parâmetros de duas ou mais populações.

Esta análise permite a repartição da variabilidade total dos dados experimentais pelas diversas componentes causadoras da variabilidade, sendo assim possível determinar quais as componentes que são estatisticamente significativas.

Para tal são testadas as hipóteses:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k, \text{ com } k=n^\circ \text{ total de grupos}$$

$$H_1: \text{nem todas as médias populacionais são iguais}$$

A realização da Análise de Variância implica efetuar vários cálculos, e construir a Tabela B1.

Tabela B1 – Resumo Análise ANOVA [Adaptado: (Pereira & Requeijo, 2012)]

Fonte de Variação	SS_T	g.l.	MS	F
Entre Grupos	$SS_B = \sum_{i=1}^g (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	$a - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{g - 1}$	$F = \frac{MS_B}{MS_W}$
Erro	$SS_W = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	$N - a$	$MS_W = \frac{SS_W}{N - a}$	
Total	$SS_T = SS_B + SS_W$	$N - 1$		

Neste contexto, SS_T é entendido como a variação total, SS_B como a variação entre os níveis, SS_W como a variação dentro dos níveis, g.l. como os graus de liberdade, MS como a média dos quadrados e F corresponde à estatística teste.

Para determinar se a Hipótese Nula é rejeitada, ou não, o valor da estatística teste, que corresponde a $F_{\alpha;(\alpha-1);(N-\alpha)}$, é comparado com o valor crítico ($F_{\text{crítico}}$ ou valor-p). Caso $F > F_{\text{crítico}}$, a Hipótese Nula é efetivamente rejeitada.

B.2.1. Teste de Tukey

Entre grupos, a existência de uma diferença estatisticamente significativa é determinada pela aplicação do teste ANOVA, no entanto, este teste não permite aferir quais as relações existentes entre os grupos analisados.

Para tal, são utilizados os chamados testes *post-hoc*, sendo o teste de Tukey o mais utilizado, e o mais rigoroso, podendo ser aplicado mesmo na ausência de igualdade nas dimensões amostrais.

Começa-se por obter o *HSD* (*Honestly Significant Difference*), através da expressão:

$$HSD = q(k, gl, \alpha) \sqrt{\frac{QME}{n}} \quad (\text{B.6})$$

Onde QME corresponde ao quadrado médio do erro, q é determinado com recurso à tabela de Tukey e n o número de réplicas do nível em estudo.

A igualdade entre as médias (μ) de dois grupos (i e j), é rejeitada, caso o valor absoluto das suas diferenças amostrais seja superior a valor apurado para HSD:

$$|\mu_i - \mu_j| > HSD \quad (\text{B.7})$$

B.3. Coeficiente de Pearson

Os diagramas de dispersão permitem visualizar a relação entre duas variáveis. A quantificação da maior ou menor relação existente entre duas variáveis, X e Y, pode ser realizado mediante o cálculo do coeficiente de correlação linear, ou de Pearson, r_{XY} :

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{com } -1 \leq r_{XY} \leq 1 \quad (\text{B.8})$$

Onde x_i e y_i correspondem aos valores medidos para ambas as variáveis, e \bar{x} e \bar{y} , as médias aritméticas.

Para estudar a correlação entre duas variáveis, são necessários, no mínimo, 30 pares de valores.

A relação é definida de acordo com o valor de r_{XY} :

- $r_{XY} = 1$, indica uma correlação forte e positiva;
- $r_{XY} = 0$, indica que não existe correlação entre as variáveis;
- $r_{XY} = -1$, indica uma correlação forte e negativa.

A Tabela B2 exibe uma classificação mais pormenorizada do parâmetro em análise:

Tabela B2 – Classificação Coeficiente Linear [Adaptado: (Santos, 2007)]

Coeficiente de Correlação	Classificação
$r_{XY} = 1$ ou $r_{XY} = -1$	Perfeita
$0,8 \leq r_{XY} < 1$ ou $-1 < r_{XY} \leq -0,8$	Forte
$0,5 \leq r_{XY} < 0,8$ ou $-0,8 < r_{XY} \leq -0,5$	Moderada
$0,1 \leq r_{XY} < 0,5$ ou $-0,5 < r_{XY} \leq -0,1$	Fraca
$0 < r_{XY} < 0,1$ ou $-0,1 < r_{XY} < 0$	Ínfima
$r_{XY} = 0$	Nula

Anexo C – Simulação Alimentação Linhas em Excel

C.1. Dados Recolhidos

As Tabelas C1 e C2 contêm os produtos concebidos na UI-Equipar, organizados de acordo com o tipo de granulado utilizado na sua conceção, a secção e a linha em que são produzidos e o respetivo calibre do corpo.

Tabela C1 – Lista de Produtos Produzidos na Extrusão da UI-Equipar

Produto	Máquina	Secção	Linha	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Calibre
CRP RA	AGLO.EXT.L1	AGLO	1	29	25	29 x 25
CRP RA	AGLO.EXT.L1	AGLO	1	34,5	25	34,5 x 25
CRP RA	AGLO.EXT.L1	AGLO	1	36,5	25	36,5 x 25
CRP RA	AGLO.EXT.L1	AGLO	1	39,5	25	39,5 x 25
CRP RA	AGLO.EXT.L1	AGLO	1	43,5	25	43,5 x 25
CRP RA	AGLO.EXT.L1	AGLO	1	45,5	25	45,5 x 25
CRP RN	AGLO.EXT.L1	AGLO	1	29	25	29 x 25
CRP RN	AGLO.EXT.L1	AGLO	1	31	25	31 x 25
CRP RN	AGLO.EXT.L2Ø30	AGLO	2	56	30	56 x 30
CRP RN	AGLO.EXT.L4Ø33	AGLO	4	56	33	56 x 33
CRP RN	AGLO.EXT.L4Ø33	AGLO	4	72	33	72 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L2Ø30	AGLO	2	34,5	30	34,5 x 30
CRP RCT	AGLO.EXT.L2Ø30	AGLO	2	41,5	30	41,5 x 30
CRP RCT	AGLO.EXT.L2Ø30	AGLO	2	42	30	42 x 30
CRP RCT	AGLO.EXT.L2Ø30	AGLO	2	43	30	43 x 30
CRP RCT	AGLO.EXT.L2Ø30	AGLO	2	46,5	30	46,5 x 30
CRP RCT	AGLO.EXT.L2Ø30	AGLO	2	47,5	30	47,5 x 30
CRP RCT	AGLO.EXT.L2Ø30	AGLO	2	48,5	30	48,5 x 30
CRP RCT	TT.EXT.L2Ø29	TT	2	32	29	32 x 29
CRP RCT	TT.EXT.L2Ø29	TT	2	37	29	37 x 29
CRP RCT	TT.EXT.L2Ø29	TT	2	42	29	42 x 29
CRP RCT	TT.EXT.L2Ø30	TT	2	48,5	30	48,5 x 30
CRP RCT	AGLO.EXT.L3Ø33	AGLO	3	36,2	33	36,2 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L3Ø33	AGLO	3	36,5	33	36,5 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L3Ø33	AGLO	3	45,5	33	45,5 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L3Ø33	AGLO	3	46,5	33	46,5 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L3Ø33	AGLO	3	48,5	33	48,5 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L3Ø33	AGLO	3	50	33	50 x 33
CRP RCT	TT.EXT.L3Ø26	TT	3	35,2	26	35,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3Ø26	TT	3	35,5	26	35,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3Ø26	TT	3	36,2	26	36,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3Ø26	TT	3	37,0	26	37,0 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3Ø26	TT	3	39,5	26	39,5 x 26
CRP RCT	AGLO.EXT.L4Ø33	AGLO	4	36,2	33	36,2 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L4Ø33	AGLO	4	36,5	33	36,5 x 33

Tabela C2 - Lista de Produtos Produzidos na Extrusão da UI-Equipar (Continuação)

Produto	Máquina	Secção	Linha	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Calibre
CRP RCT	AGLO.EXT.L4ø33	AGLO	4	45,5	33	45,5 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L4ø33	AGLO	4	46,5	33	46,5 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L4ø33	AGLO	4	48,5	33	48,5 x 33
CRP RCT	AGLO.EXT.L4ø33	AGLO	4	49,5	33	49,5 x 33
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	31,2	26	31,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	34,5	26	34,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	35,2	26	35,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	35,5	26	35,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	36,2	26	36,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	42,5	26	42,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	45,5	26	45,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L2ø29	TT	2	32	29	32 x 29
CRP RCT	TT.EXT.L2ø29	TT	2	37	29	37 x 29
CRP RCT	TT.EXT.L2ø29	TT	2	42	29	42 x 29
CRP RCT	TT.EXT.L2ø30	TT	2	48,5	30	48,5 x 30
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	31,2	26	31,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	35,2	26	35,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	35,5	26	35,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	36,2	26	36,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	37,0	26	37,0 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	37,5	26	37,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	39,5	26	39,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	42,5	26	42,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	45,5	26	45,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3ø26	TT	3	35,2	26	35,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3ø26	TT	3	35,5	26	35,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3ø26	TT	3	36,2	26	36,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3ø26	TT	3	37,0	26	37,0 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L3ø26	TT	3	39,5	26	39,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	31,2	26	31,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	34,5	26	34,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	35,2	26	35,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	35,5	26	35,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	36,2	26	36,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	42,5	26	42,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L4ø26	TT	4	45,5	26	45,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	31,2	26	31,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	35,2	26	35,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	35,5	26	35,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	36,2	26	36,2 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	37,0	26	37,0 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	37,5	26	37,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	39,5	26	39,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	42,5	26	42,5 x 26
CRP RCT	TT.EXT.L5ø26	TT	5	45,5	26	45,5 x 26

As distâncias a percorrer pelo carrinho das linhas de extrusão, presentes nas secções AGLO e TT da UI-Equipar, são apresentadas nas Tabelas C3 e C4.

Tabela C3 – Distâncias a Percorrer pelo Carrinho nas Linhas de Extrusão

Máquina	Secção	Linha	d_{carrinho-máquina} (m)
M1	AGLO	1	3,5
M2	AGLO	1	6,4
M3	AGLO	1	9,5
M4	AGLO	1	12,5
M5	AGLO	1	15,6
M6	AGLO	1	18,7
M7	AGLO	1	21,8
M8	AGLO	1	24,8
M1	AGLO	2	3,7
M2	AGLO	2	6,5
M3	AGLO	2	9,4
M4	AGLO	2	12,5
M5	AGLO	2	15,6
M6	AGLO	2	18,6
M7	AGLO	2	21,7
M8	AGLO	2	24,7
M1	AGLO	3	2,8
M2	AGLO	3	5,8
M3	AGLO	3	8,9
M4	AGLO	3	11,9
M5	AGLO	3	15,0
M6	AGLO	3	18,0
M7	AGLO	3	21,1
M8	AGLO	3	24,2
M1	AGLO	4	3,4
M2	AGLO	4	6,5
M3	AGLO	4	9,6
M4	AGLO	4	12,7
M5	AGLO	4	15,7
M6	AGLO	4	18,8
M7	AGLO	4	21,9
M8	AGLO	4	24,9
M1	TT	3	3,4
M2	TT	3	6,3
M3	TT	3	9,3
M4	TT	3	12,2
M5	TT	3	15,7
M6	TT	3	18,7
M7	TT	3	22,1
M8	TT	3	25,1
M1	TT	4	3,2
M2	TT	4	6,3
M3	TT	4	9,3
M4	TT	4	12,4

Tabela C4 - Distâncias a Percorrer pelo Carrinho nas Linhas de Extrusão (Continuação)

Máquina	Secção	Linha	d_{carrinho-máquina} (m)
M5	TT	4	14,0
M6	TT	4	18,7
M7	TT	4	21,8
M8	TT	4	25,0
M1	TT	5	3,2
M2	TT	5	6,3
M3	TT	5	9,3
M4	TT	5	12,5
M5	TT	5	15,6
M6	TT	5	18,7
M7	TT	5	21,8
M8	TT	5	24,9

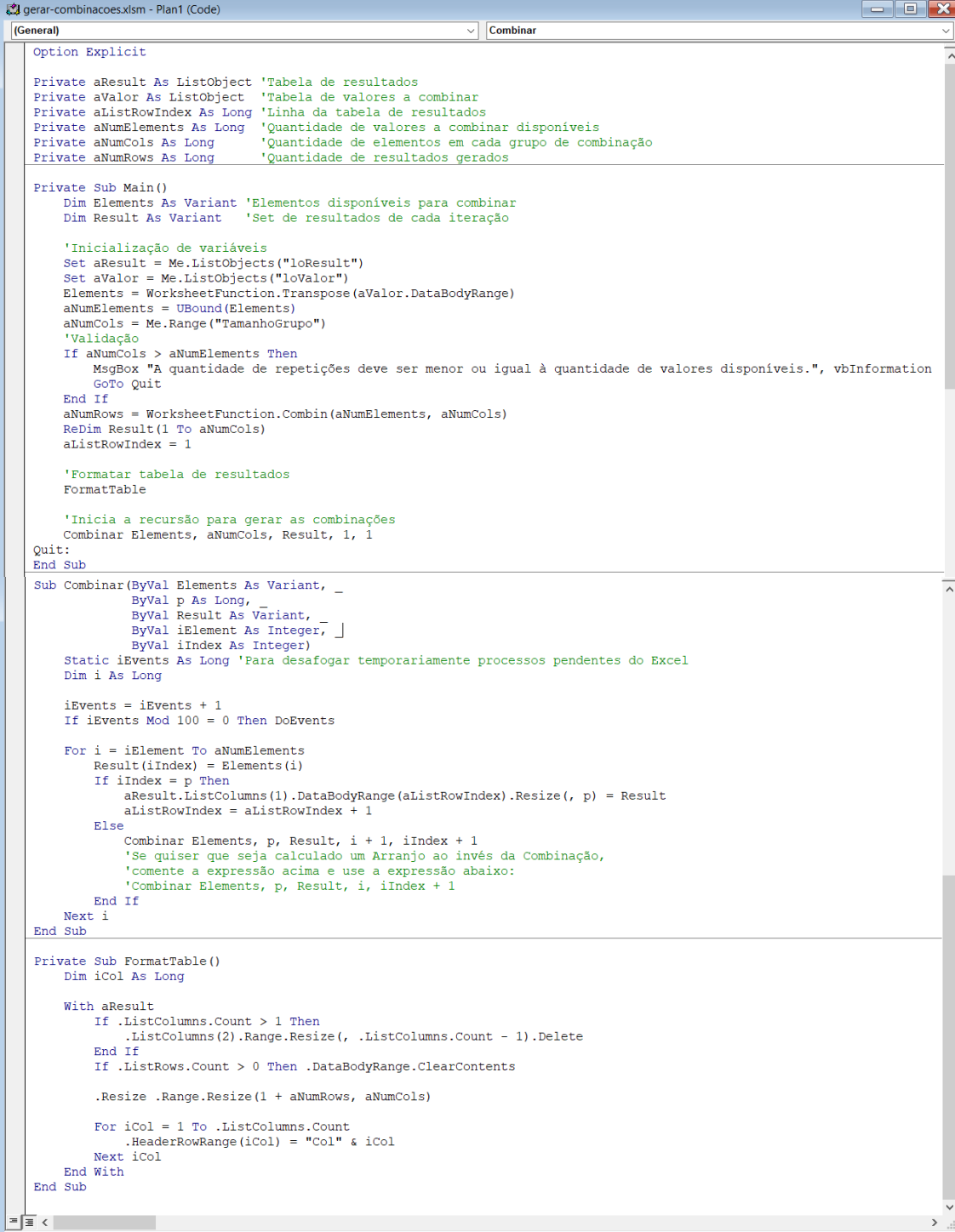
As características intrínsecas a cada um dos carrinhos de abastecimento, bem como os períodos de elaboração da mistura, próprios de cada uma das linhas de extrusão da UI-Equipar, são resumidos na Tabela C5.

Tabela C5 – Características do Carrinho e da Mistura das Linhas de Extrusão

Secção	Linha	Δt abastecimento (s)	Δt arranque (s)	Δt descarga (s)	v_{carrinho} (m/s)	Δt Preparação Mistura (min)
AGLO	1	3,67	3,71	3,58	0,41	16
AGLO	2	3,58	3,37	5,13	0,41	16
AGLO	3	2,41	4,13	5,32	0,40	16
AGLO	4	2,41	6,72	15,41	0,39	16
TT	3	2,77	1,23	4,00	0,40	20
TT	4	2,46	0,95	4,23	0,38	20
TT	5	2,36	1,12	4,18	0,39	20

C.2. Gerador de Combinações

O Código representado na Figura C1, foi utilizado para simular os diferentes cenários de alimentação das máquinas, prováveis, e possíveis, de acontecer no decorrer do período de laboração das linhas de extrusão.



```
gerar-combinacoes.xlsm - Plan1 (Code)
[General] Combinar

Option Explicit

Private aResult As ListObject 'Tabela de resultados
Private aValue As ListObject 'Tabela de valores a combinar
Private aListRowIndex As Long 'Linha da tabela de resultados
Private aNumElements As Long 'Quantidade de valores a combinar disponíveis
Private aNumCols As Long 'Quantidade de elementos em cada grupo de combinação
Private aNumRows As Long 'Quantidade de resultados gerados

Private Sub Main()
    Dim Elements As Variant 'Elementos disponíveis para combinar
    Dim Result As Variant 'Set de resultados de cada iteração

    'Inicialização de variáveis
    Set aResult = Me.ListObjects("loResult")
    Set aValue = Me.ListObjects("loValor")
    Elements = WorksheetFunction.Transpose(aValue.DataBodyRange)
    aNumElements = UBound(Elements)
    aNumCols = Me.Range("TamanhoGrupo")
    'Validação
    If aNumCols > aNumElements Then
        MsgBox "A quantidade de repetições deve ser menor ou igual à quantidade de valores disponíveis.", vbInformation
        GoTo Quit
    End If
    aNumRows = WorksheetFunction.Combin(aNumElements, aNumCols)
    ReDim Result(1 To aNumCols)
    aListRowIndex = 1

    'Formatar tabela de resultados
    FormatTable

    'Inicia a recursão para gerar as combinações
    Combinar Elements, aNumCols, Result, 1, 1
Quit:
End Sub

Sub Combinar(ByVal Elements As Variant, _
    ByVal p As Long, _
    ByVal Result As Variant, _
    ByVal iElement As Integer, _
    ByVal iIndex As Integer)
    Static iEvents As Long 'Para desafogar temporariamente processos pendentes do Excel
    Dim i As Long

    iEvents = iEvents + 1
    If iEvents Mod 100 = 0 Then DoEvents

    For i = iElement To aNumElements
        Result(iIndex) = Elements(i)
        If iIndex = p Then
            aResult.ListColumns(1).DataBodyRange(aListRowIndex).Resize(, p) = Result
            aListRowIndex = aListRowIndex + 1
        Else
            Combinar Elements, p, Result, i + 1, iIndex + 1
            'Se quiser que seja calculado um Arranjo ao invés da Combinação,
            'comente a expressão acima e use a expressão abaixo:
            'Combinar Elements, p, Result, i, iIndex + 1
        End If
    Next i
End Sub

Private Sub FormatTable()
    Dim iCol As Long

    With aResult
        If .ListColumns.Count > 1 Then
            .ListColumns(2).Range.Resize(, .ListColumns.Count - 1).Delete
        End If
        If .ListRows.Count > 0 Then .DataBodyRange.ClearContents

        .Resize .Range.Resize(1 + aNumRows, aNumCols)

        For iCol = 1 To .ListColumns.Count
            .HeaderRowRange(iCol) = "Col" & iCol
        Next iCol
    End With
End Sub
```

Figura C1 – Código (Visual Basic) Utilizado para Gerar Combinações/Arranjos [Fonte: (Macoratti, 2020)]

C.3. Guia de Utilização

A Figura C2 resume os passos necessários, para utilizar corretamente o simulador da alimentação das linhas de extrusão, desenvolvido em Excel.

CALCULADORA DE CENÁRIOS

ZONA FÁBRICA

Seção	AGLO
Linha	4

CARACTERÍSTICAS CORPO


Granulado	RCT
Calibre	48,5 x 33
Comprimento (mm)	48,5
Diâmetro (mm)	33
Massa Volúmica Corpo (Kg/m ³)	275
Volume Corpo (m ³)	4E-05
Massa Granulado p/ Corpo (Kg)	0,011

MISTURA

Qtd. Mistura Produzida (Kg)	80
Δt Preparação Mistura (min)	16
Δt Entre Misturas (min)	4
Δt Total de Mistura	20

CARACTERÍSTICAS LINHA

Tempo Operação (h/dia)	24
------------------------	----



Máquina	Crescimento Bastão (cm/min)	Tubos	Corpos/Dia	Consumo Mistura (Kg/dia)	Consumo Mistura (Kg/min)
M1	3,7	50	54928	627	0,4
M2	3,9	50	58283	665	0,5
M3	3,8	50	55927	638	0,4
M4	3,5	50	52394	598	0,4
M5	3,1	50	45486	519	0,4
M6	3,2	50	47495	542	0,4
M7	3,6	50	53473	610	0,4
M8	3,7	50	54324	620	0,4

SOLUÇÃO

Rótulos de Linha	Média de Qtd. Carrinho (Kg)	Máximo de Máximo Δt s/ mistura (min)	Mínimo de Máximo Δt s/ mistura (min)	Máximo de Mínimo Δt s/ mistura (min)	Mínimo de Mínimo Δt s/ mistura (min)
4	20	-3,2	-3,3	-15,5	-15,9
5	16	11,1	0,8	-9,9	-23,4
6	13	11,1	0,2	-7,7	-18,2
7	11	15,2	3,5	-9,2	-15,5
8	10	-1,7	-1,7	-7,8	-7,8
Total Geral	15,6	15,2	-3,3	-7,7	-23,4

5

Analisar Tabela Dinâmica Estrutura

Atualizar

Alterar Origem de Dados

Ações

Dados

Cálculos

Figura C2 - Esquema Representativo da Utilização do Simulador de Abastecimento das Linhas

Apenas os parâmetros a **azul** devem de ser alterados/preenchidos, e a sequência consiste de preenchimento em:

1. Definir a zona da fábrica e a linha em estudo;
2. Selecionar o tipo de granulado, as dimensões dos corpos a produzir, e adicionar a massa volúmica média dos corpos na linha;

3. Colocar a quantidade de mistura a produzir, e o intervalo de tempo existente/pretendido entre 2 misturas consecutivas;
4. Definir o tempo de operação da linha, e adicionar o crescimento de bastão médio de cada máquina, assim como o número de tubos em funcionamento (caso exista uma máquina fora de operação, basta colocar 0 no crescimento de bastão associado a essa mesma máquina);
5. Atualizar a tabela dinâmica;
6. Analisar os resultados para determinar a existência, ou não, de eventuais períodos de caixa sem mistura.

C.4. Simulação Alimentação Linha 3 AGLO

Na Tabela C6, são expostas as condições reais de operação da Linha 3 da extrusão AGLO, no momento em que a presente simulação foi realizada, e a Tabela C7 apresenta o resultado dessa mesma simulação. Já as Tabelas C8, C9 e C10 correspondem a simulações posteriormente efetuadas.

Na Tabela C8 simulou-se a alimentação das linhas de extrusão tendo por base a produção de 80 Kg de mistura e um intervalo entre 2 misturas consecutivas igual ao valor médio apurado: 11 minutos. Na Tabela C9, considerou-se a produção de uma mistura de 70 Kg, e um intervalo entre 2 misturas inexistente. E por fim, na Tabela C10, são apresentados os resultados da estimativa do comportamento de abastecimento da linha de extrusão, na presença de misturas de 80 Kg e, uma vez mais, na ausência de um intervalo de tempo entre a elaboração de 2 misturas sucessivas.

Tabela C6 – Condições Reais de Operação Linha 3 Extrusão AGLO

Nº de Abastecimentos por Ronda	3
Qtd. Mistura Produzida (Kg)	70
Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	22
Δt Entre Misturas Médio (min)	11

Tabela C7 – Simulação Linha 3 da Extrusão AGLO Condições Reais

Abastecimentos/ Ronda	Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	Máximo Δt s/ mistura (min)		Mínimo Δt s/ mistura (min)	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4	18	12,8	12,7	8,9	8,9
5	14	26,4	21,2	-2,4	-12,2
6	12	26,4	21,2	1,0	-8,3
7	10	29,7	21,2	3,4	-5,4
8	9	6,3	6,3	4,5	4,5

Tabela C8 - Simulação Linha 3 da Extrusão AGLO para Mistura 80 Kg

Abastecimentos/ Ronda	Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	Máximo Δt s/ mistura (min)		Mínimo Δt s/ mistura (min)	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4	20	6,9	6,8	2,5	2,5
5	16	22,5	17,0	-7,2	-17,2
6	13	22,5	17,2	-3,2	-12,4
7	11	26,2	17,6	-0,2	-9,0
8	10	3,4	3,4	1,2	1,2

Tabela C9 - Simulação Linha 3 da Extrusão AGLO para Mistura 70 Kg e Δt entre misturas=0

Abastecimentos/ Ronda	Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	Máximo Δt s/ mistura (min)		Mínimo Δt s/ mistura (min)	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4	18	-9,2	-9,3	-13,1	-13,1
5	14	4,4	-0,8	-13,4	-23,2
6	12	4,4	-0,8	-10,0	-19,3
7	10	7,7	-0,8	-7,6	-16,4
8	9	-4,7	-4,7	-6,5	-6,5

Tabela C10 - Simulação Linha 3 da Extrusão AGLO para Mistura 80 Kg e Δt entre misturas=0

Abastecimentos/ Ronda	Qtd. Mistura Carrinho (Kg)	Máximo Δt s/ mistura (min)		Mínimo Δt s/ mistura (min)	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4	20	-15,1	-15,2	-19,5	-19,5
5	16	0,5	-5,0	-18,2	-28,2
6	13	0,5	-4,8	-14,2	-23,4
7	11	4,2	-4,4	-11,2	-20,0
8	10	-7,6	-7,6	-9,8	-9,8

Anexo D – Normas

No presente anexo encontram-se descritas as normas criadas, e as reformuladas, bem como as respetivas folhas de registo/verificação.

NORMA - VERIFICAÇÃO TEMPERATURAS MÁQUINAS EXTRUSORAS

Unidade Industrial	EQUIPAR	Sector/ Máquina	EXTRUSÃO

Nº	Descrição Operação	Tempo
1	Recolher o equipamento necessário para a medição	00:00:05
2	Ligar o Termómetro Fluke 54 II B	00:00:02
3	No forno do lado A da máquina, inserir o termopar 1 na extremidade A do forno e o termopar 2 na extremidade B. O termopar deve de ser inserido de acordo com a figura 2.	00:00:30
4	Aguardar que a temperatura estabilize.	00:15:00
5	Apontar o valor na folha de registo (figura 6).	00:00:30
6	Inserir o termopar 1 na extremidade B e o termopar 2 na extremidade C. Uma vez mais o termopar deve de ser inserido de acordo com a figura 2.	00:00:30
9	Aguardar que a temperatura estabilize.	00:15:00
10	Apontar o valor na folha de registo (figura 6).	00:00:30
11	Proceder de igual modo para o forno do Lado B da Máquina	00:32:00
12	Apontar o valor do SetPoint (temperatura a vermelho na figura 5) na folha de registo (figura 6).	00:00:30
13	Efetuar o mesmo procedimento para as restantes máquinas da linha.	

Temp: _____

Line: _____

Date/Time: _____

Set Point	Digital	Sonda	Sonda	Digital	Set Point
		A	Máquina 1	B	
		A	Máquina 2	B	
		A	Máquina 3	B	
		A	Máquina 4	B	
		A	Máquina 5	B	
		A	Máquina 6	B	
		A	Máquina 7	B	
		A	Máquina 8	B	

Obs: Verificar

5/10

Figura D1 – Norma Verificação da Temperatura das Máquinas Extrusoras


Tipo: _____

Linha: _____

Data/Hora: _____

Set Point	Digital	Sonda				Sonda	Digital	Set Point
			A	Máquina 1	B			
			A	Máquina 2	B			
			A	Máquina 3	B			
			A	Máquina 4	B			
			A	Máquina 5	B			
			A	Máquina 6	B			
			A	Máquina 7	B			
			A	Máquina 8	B			
Observações:								

Figura D2 - Folha de Registo Verificação da Temperatura das Máquinas Extrusoras

<div>  </div>		NORMA - AFERIÇÃO DO DOSEAMENTO DE PQ - MISTURA			AMORIM CORK
Unidade Industrial		EQUIPAR	Sector/ Máquina	EXTRUSÃO	


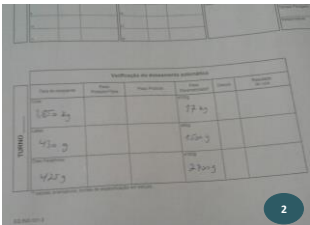




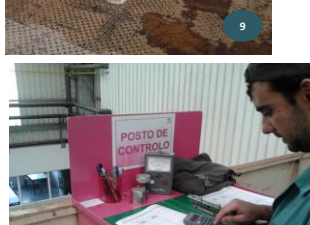



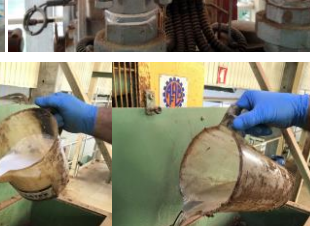




Nº	Descrição Operação	Tempo	
1	Reunir o material necessário para o processo de aferição	00:00:05	
2	Tarear os recipientes da cola, latex e parafina e registar na folha EQ.IND.001 - Controlo de Processo - Extrusão - Mistura	00:00:15	
3	Na consola, iniciar a receita em automático carregando no botão "Granulado". De seguida controlar e ajustar a humidade conforme a NORMA IT.EQ.IND.55 - MISTURA AUTOMÁTICA EXTRUSÃO	00:03:13	
4	No menu da receita, carregar no botão "Modo Calibrar"	00:00:15	
5	Colocar o balde da cola no interior da misturadora pronto a receber o produto	00:00:54	
6	Dar início à adição de produtos conforme a NORMA IT.EQ.IND.55 - MISTURA AUTOMÁTICA EXTRUSÃO	00:04:24	
7	Terminado o abastecimento da cola, colocar o recipiente do látex no local e aguardar a entrada do produto	00:00:21	
8	Terminado o abastecimento do látex, colocar o recipiente da parafina no local e aguardar a entrada do produto	00:01:06	
9	Levar os três recipientes para a balança de pesagem	00:00:30	
10	Efectuar a pesagem dos três produtos e registar no Posto de Controlo	00:01:43	
11	Registar os pesos parametrizados na receita	00:02:02	
12	Obter o peso do produto através da seguinte subtração: [peso total - tara]	00:00:10	
13	Calcular o desvio do peso do produto com o peso parametrizado, fazendo a diferença entre os 2 valores	00:00:10	
14	Se o peso estiver acima do erro admissível registar "NOK"; Se o peso estiver abaixo do erro admissível registar "OK"		
15	Caso tenha registado "NOK" para algum dos produtos, ajuste a abertura da válvula manual do produto correspondente e volte a repetir a medição. Caso contrário, abasteça os produtos à misturadora e prossiga a elaboração da mistura.	00:00:30	
16	Se não conseguir efectuar o ajuste comunique ao chefe de turno e avise a manutenção	00:00:30	

Figura D3 - Norma Aferição do Doseamento de Produtos Químicos de uma a Mistura

Figure 1 displays six panels showing the distribution of 1000 particles (orange dots) in two columns, LADO A and LADO B, across three rows. The background is green. The panels show different spatial distributions of the particles, likely representing different stages or conditions of a process.

[illegible]

Figura D4 - Norma Verificação da Distribuição da Mistura nas Caixas

Linha: _____
Data/Hora: _____

Linha: _____
Data/Hora: _____

Linha: _____
Data/Hora: _____

Máquina 1			Máquina 1			Máquina 1		
Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B
Máquina 2			Máquina 2			Máquina 2		
Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B
Máquina 3			Máquina 3			Máquina 3		
Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B
Máquina 4			Máquina 4			Máquina 4		
Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B
Máquina 5			Máquina 5			Máquina 5		
Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B
Máquina 6			Máquina 6			Máquina 6		
Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B
Máquina 7			Máquina 7			Máquina 7		
Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B
Máquina 8			Máquina 8			Máquina 8		
Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B	Lado A	Centrado	Lado B

Observações:

--

Observações:

--

Observações:

--

Figura D5 - Folha de Registo Verificação da Distribuição da Mistura nas Caixas

